



**Frederico da Cruz Luz**

Licenciatura em Engenharia Mecânica

## **Dimensionamento de um sistema solar térmico para apoio à climatização de 4 edifícios da FCT-UNL**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Energias Renováveis – Conversão Eléctrica e Utilização Sustentáveis

Orientador: Prof. Doutor. João José Lopes de Carvalho

Co-orientador: Prof. Doutor. Stanimir Stoyanov Valtchev

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Pedro Miguel Ribeiro Pereira

Arguente: Prof. Doutor Daniel Cardoso Vaz



**FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

**Setembro de 2013**



# **Dimensionamento de um sistema solar térmico para apoio à climatização de 4 edifícios da FCT-UNL**

Copyright © 2013 – Frederico da Cruz Luz e Faculdade de Ciências e Tecnologia –  
Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.





## **Agradecimentos**

A realização desta dissertação foi possível graças à colaboração, directa ou indirecta, de várias pessoas, às quais gostaria de exprimir o meu agradecimento:

Ao Professor Doutor João José Lopes de Carvalho pela ajuda no desenvolvimento desta dissertação, pela grande disponibilidade e vontade de ajudar. À Patrícia Bravo pela ajuda na obtenção dos dados dos edifícios estudados.

Aos meus pais, irmãos e amigos.

Os meus agradecimentos

Frederico Luz



# Resumo

A presente dissertação apresenta e discute os resultados obtidos através de simulações computacionais, com recurso ao programa SolTerm (análise de desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos), da implementação de campos de colectores solares térmicos em quatro edifícios da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, com vista ao apoio à climatização nas estações de aquecimento e de arrefecimento. O arrefecimento é obtido através da utilização de chillers de absorção.

O objectivo é analisar a viabilidade económica e financeira dos sistemas. Para tal, simularam-se diferentes parâmetros. São estes: tipo de colector (colector plano selectivo e colector tubo de vácuo); temperatura produzida pelo campo solar (80°C, 70°C e 60°C na estação de aquecimento e 90°C e 95°C na estação de arrefecimento); volume de armazenamento.

Os resultados obtidos na forma de energia produzida mostram uma grande diferença entre os colectores, sendo o colector tubo de vácuo claramente superior. Esta diferença era esperada e deve-se ao maior rendimento dos tubos de vácuo em relação ao colector plano selectivo. Em relação à temperatura simulada pelo campo solar, os 60°C e 90°C correspondem às melhores temperaturas para a estação de aquecimento e arrefecimento, respectivamente. Estes resultados eram esperados, uma vez que, o rendimento dos colectores é maior quando a temperatura simulada é mais baixa. Por último o melhor volume de armazenamento varia entre edifícios, sendo que, para os edifícios VIII e IX corresponde a 2 m<sup>3</sup> e para os edifícios VII e X a 3 m<sup>3</sup>. Os volumes escolhidos correspondem a um equilíbrio entre a energia que é possível produzir, graças a maior capacidade de armazenamento, e o preço do aumento dessa capacidade.

O tempo de retorno do investimento nos sistemas depende dos juros aplicados a poupança anual correspondente ao custo da energia poupada. Considerando os preços utilizados, ambos os sistemas são pouco interessantes do ponto de vista de investimento de capital.

## **Palavras-chave:**

Solterm, Chiller de absorção, Campo solar, Climatização Solar, Apoio solar.



## Abstract

The present dissertation show the results, obtained through computer simulations using the SolTerm program (performance analysis of solar thermal and photovoltaic systems), of the study of the implementation of fields of solar collectors on four buildings located in the Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa with the objective of supporting the climatization on both the heating season and the cooling season, where cooling is provided by using absorption chillers.

The objective is to determine the economic and financial viability of systems. To this end, different parameters were simulated and are the following: type of collector (flat plate and evacuated tubes); temperature produced by the solar field (80°C, 70°C and 60°C in heating season and 90°C and 95°C in the cooling season); and storage volume.

The results show a large difference in the energy produced by the collectors, where evacuated tubes are clearly superior. This difference was expected, and is due to the higher yield of vacuum tubes in relation to the flat plate. Regarding the temperature produced by the solar field, 60 ° C and 90 ° C correspond to the best temperatures for the heating and cooling seasons, respectively. These results were expected, since the yield of the collectors is higher when the temperature produced is lower. Finally, the best storage volume depends on the building, for buildings VIII and IX is 2 m<sup>3</sup> and for buildings VII and X is 3 m<sup>3</sup>. The selected volumes correspond to a balance between energy that can be produced, thanks to increased storage capacity, and the price to increase that capacity.

Payback time of the systems depends on the interest applied to the savings corresponding to the annual energy savings.

### Key words:

Solterm, Absorsion chiller, Solar field, Solar cooling and heating, Solar support.



# Índice de matérias

1	Introdução .....	1
1.1	Objectivo.....	1
1.2	Revisão bibliográfica .....	1
1.3	História resumida das alterações climáticas .....	2
1.4	Energia em Portugal.....	3
1.5	Energia Solar em Portugal .....	5
1.6	Legislação portuguesa sobre energia .....	6
1.7	Política Ambiental da Universidade.....	8
2	Descrição dos edifícios em estudo .....	11
2.1	Características relevantes dos edifícios.....	12
2.1.1	Edifício VII .....	12
2.1.2	Edifício VIII .....	13
2.1.3	Edifício IX .....	13
2.1.4	Edifício X .....	14
2.2	Cargas térmicas dos Edifícios.....	15
3	Descrição do sistema solar proposto .....	19
3.1	Tipo de colector a utilizar .....	19
3.2	Número de colectores .....	20
3.2.1	Edifício VII .....	21
3.2.2	Edifício VIII .....	22
3.2.3	Edifício IX .....	23
3.2.4	Edifício X .....	24
3.3	Chiller de absorção .....	24
3.4	Torre de arrefecimento.....	26
3.5	Sistema de apoio.....	29
3.6	Tubagem e depósitos de armazenamento.....	30
4	Parâmetros de simulação .....	31
4.1	Programa utilizado nas simulações. ....	31
4.1.1	Clima e local.....	31
4.1.2	Sistemas térmicos.....	32
4.1.3	Análise energética.....	34

4.1.4	Análise económica .....	34
4.1.5	Benefícios ambientais .....	35
4.2	Valores das cargas.....	35
4.2.1	Cargas mensais e diárias.....	36
4.2.2	Cargas horárias.....	39
4.3	Temperaturas simuladas.....	42
4.3.1	Estação de aquecimento.....	42
4.3.2	Estação de arrefecimento .....	43
5	Resultado das simulações e análise crítica.....	45
5.1	Painel plano selectivo (F3 - 1).....	45
5.1.1	Edifício VII .....	45
5.1.2	Comparação entre os edifícios .....	49
5.2	Colector tubo de vácuo (CRK-12) .....	51
5.2.1	Edifício VII .....	51
5.2.2	Comparação entre edifícios .....	52
5.3	Comparação entre colectores .....	54
5.4	Temperatura de ida na estação de arrefecimento .....	55
5.5	Análise económica .....	56
5.5.1	Colector plano selectivo (F3 – 1) .....	57
5.5.2	Colector tubo de vácuo (CRK – 12) .....	59
6	Conclusões .....	61
	Bibliografia .....	63
	Anexo A – Figuras .....	67
	Anexo B – Tabelas .....	71



## Índice de figuras

<b>Figura 1.1</b> – Tipos de energia primária (a) e tipos de energia renovável (b) consumidos em Portugal no ano de 2012.....	4
<b>Figura 1.2</b> – Distribuição dos consumos de energia final por sector (a), subsectores da parcela “outros sectores” (b) e tipos de energia final consumidos pelo subsector serviços (c) para o ano de 2012.....	4
<b>Figura 1.3</b> – Irradiação global horizontal na Europa (adaptado de [26]).....	5
<b>Figura 1.4</b> – Contribuição no mercado solar térmico europeu, nova capacidade instalada em 2012 (a) e potência solar térmica em funcionamento, per 1000 capita (b) (adaptados de [27]).....	6
<b>Figura 2.1</b> – Mapa do campus da Caparica. [42] .....	11
<b>Figura 2.2</b> – Vista superior do edifício VII. [44].....	12
<b>Figura 2.3</b> – Vista superior do edifício VIII. [44].....	13
<b>Figura 2.4</b> – Vista superior do edifício IX. [44].....	14
<b>Figura 2.5</b> – Vista superior do edifício X. [44].....	14
<b>Figura 3.1</b> – Colector plano selectivo (a), tubo de vácuo (b) e respectivas dimensões [49].....	19
<b>Figura 3.2</b> – Irradiação em Lisboa para diferente orientação do colector, média anual em kWh/m <sup>2</sup> [25].....	20
<b>Figura 3.3</b> – Irradiação em Lisboa para diferente orientação do colector durante o semestre de Inverno em kWh/m <sup>2</sup> [25]. .....	21
<b>Figura 3.4</b> – Vistas de planta da cobertura da ala oeste do Ed.VII, com o campo solar de colectores planos selectivos (a) e colectores tubo de vácuo (b). .....	22
<b>Figura 3.5</b> – Vista de planta da cobertura do Ed.VIII, com o campo solar de colectores planos selectivos (a) e colectores tubo de vácuo (b). .....	23
<b>Figura 3.6</b> – Vista de planta da cobertura do Ed.IX, com o campo solar de colectores planos selectivos (a) e colectores tubo de vácuo (b). .....	23
<b>Figura 3.7</b> – Vista de planta da cobertura do Ed.X, com o campo solar de colectores planos selectivos (a) e colectores tubo de vácuo (b). .....	24
<b>Figura 3.8</b> – Esquema do chiller de absorção (adaptado de [50]). .....	26
<b>Figura 3.9</b> – Gráfico de selecção do modelo da torre de arrefecimento (adaptado de [51]). .....	29
<b>Figura 4.1</b> – Secção clima e local (a) e Ajustes locais (b). .....	32
<b>Figura 4.2</b> – Secção sistemas térmicos e características dos colectores. ....	32
<b>Figura 4.3</b> –Características do circuito primário (a), fluido circulante no primário (b), depósitos/permutadores (c), sistema de apoio (d). .....	33
<b>Figura 4.4</b> –Consumos a utilizar (a) e introdução dos mesmos (b). ....	33
<b>Figura 4.5</b> – Secção análise energética. ....	34
<b>Figura 4.6</b> – Secção análise económica.....	35
<b>Figura 4.1</b> – Gráfico da ocupação por hora para um estabelecimento de ensino superior [23]. ....	39
<b>Figura 5.1</b> – Gráfico representativo da evolução da F.S, em função da temperatura de ida e volume de armazenamento, para o colector F3 – 1 no Ed.VII. ....	46

<b>Figura 5.2</b> – Gráfico representativo do balanço energético mensal em percentagem, para o colector F3 – 1 no Ed.VII e temperatura de ida de 80°C. ....	47
<b>Figura 5.3</b> – Gráfico representativo do balanço energético mensal em energia, para o colector F3 – 1 no Ed.VII e temperatura de ida de 80°C. ....	48
<b>Figura 5.4</b> – F.S por edifício para o volume óptimo de cada um, com o colector F3 – 1.....	49
<b>Figura 5.5</b> – Energia solar fornecida por edifício para o volume óptimo de cada um, com o colector F3 – 1.....	50
<b>Figura 5.6</b> – Gráfico representativo da evolução da F.S, em função da temperatura de ida e volume de armazenamento, para o colector CRK - 12 no Ed.VII.....	51
<b>Figura 5.7</b> – Gráfico representativo do balanço energético mensal em percentagem, para o colector CRK - 12 no Ed.VII e temperatura de ida de 80°C.....	52
<b>Figura 5.8</b> – F.S por edifício para o volume óptimo de cada um e para o colector CRK - 12.....	53
<b>Figura 5.9</b> – Energia solar fornecida por edifício para o volume óptimo de cada um e para o colector CRK - 12.....	53
<b>Figura 5.10</b> – Fracção solar por tipo de colector para o ed.VII (a), ed.VIII (b), ed.IX (c) e ed.X (d). ..	54
<b>Figura 5.11</b> – Contribuição de cada componente para o custo total do sistema, para o colector F3-1 (a) e para o CRK-12 (b).....	56

## Índice de tabelas

<b>Tabela 2.1</b> – Valores das cargas anuais dos edifícios VIII e X.....	16
<b>Tabela 2.2</b> – Áreas das tipologias e respectivo IEE dos edifícios VII e IX. ....	16
<b>Tabela 2.3</b> – Valores das cargas anuais dos edifícios VII e IX.....	17
<b>Tabela 3.1</b> – Principais características dos colectores.....	19
<b>Tabela 3.2</b> – Valores das potências de arrefecimento para os quatro edifícios.....	25
<b>Tabela 3.3</b> – Caudais da água de refrigeração para os 3 modelos do chiller a utilizar.....	27
<b>Tabela 3.4</b> – Temperatura de entrada e saída da torre assim como a temperatura de bolbo húmido do local. ....	27
<b>Tabela 3.5</b> – Diferenças de temperaturas usadas na selecção do factor de correcção da potência.....	28
<b>Tabela 3.6</b> – Tabela de selecção do factor de correcção da potência da torre de arrefecimento (adaptado de [51]). ....	28
<b>Tabela 3.7</b> – Potência inicial, potência corrigida e modelo das torres de arrefecimento para os 3 modelos de chillers.....	29
<b>Tabela 3.8</b> – Comprimento da tubagem para os 4 campos solares.....	30
<b>Tabela 4.1</b> – Valores mensais e diários das cargas do edifício VIII para a estação de aquecimento. ....	37
<b>Tabela 4.2</b> – Valores mensais e diários das cargas do edifício VIII para a estação de arrefecimento.....	38
<b>Tabela 4.3</b> – Valores da carga por hora do edifício VIII para a estação de aquecimento.....	40
<b>Tabela 4.4</b> – Valores da carga por hora do edifício VIII para a estação de arrefecimento. ....	41
<b>Tabela 5.1</b> – V.F.S por aumento de 1 m <sup>3</sup> no volume de armazenamento, para o colector F3 – 1 no Ed.VII. ....	46
<b>Tabela 5.2</b> – Volume de armazenamento optimo por temperatura de ida para os 4 edifícios com colector F3 – 1.....	49
<b>Tabela 5.3</b> – V.F.S por aumento de 1 m <sup>3</sup> no volume de armazenamento, para o colector CRK - 12 no Ed.VII. ....	51
<b>Tabela 5.4</b> – Volume de armazenamento óptimo por temperatura de ida para os 4 edifícios com colector CRK-12. ....	52
<b>Tabela 5.5</b> – Energia de apoio, fornecida e extra por temperatura para o colector F3-1.....	55
<b>Tabela 5.6</b> – Energia de apoio, fornecida e extra por temperatura para o colector CRK-12. ....	55
<b>Tabela 5.6</b> – Energia poupada, extra e balanço final para ambos os colectores.....	55
<b>Tabela 5.7</b> – Preços do sistema solar por edifício e tipo de colector. ....	56
<b>Tabela 5.8</b> – Juros mínimos para viabilizar o sistema solar sem incentivos, com colectores F3 – 1. ....	58
<b>Tabela 5.9</b> – Juros máximo para viabilizar o sistema solar com diferentes incentivos, com colectores F3 – 1.....	58
<b>Tabela 5.10</b> – Juros máximos para rentabilizar o sistema solar sem incentivos, com colectores CRK-12.....	59
<b>Tabela 5.11</b> – Juros mínimos para viabilizar o sistema solar sem incentivos, com colectores CRK-12. ....	59

<b>Tabela 5.12</b> – Juros máximo para viabilizar o sistema solar com diferentes incentivos, com colectores CRK-12. ....	60
<b>Tabela 6.1</b> – Emssões de CO <sub>2</sub> equivalentes para o colector F3 – 1, por temperatura de ida. ....	61
<b>Tabela 6.2</b> – Emssões de CO <sub>2</sub> equivalentes para o colector CRK - 12, por temperatura de ida. ....	61

## Lista de abreviaturas e siglas

AQS – Águas quentes sanitárias.

DAT – Divisão de Apoio Técnico.

Ed. – Edifício.

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

F.S – Fracção solar.

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios.

UCA – Unidades condicionadoras autónomas.

UTA – Unidade de tratamento de ar.

V.F.S – Variação da fracção solar.

## Lista de Símbolos

$C_{\text{aquecimento}}$  – Carga da estação de aquecimento, energia necessária para a estação de aquecimento de forma a climatizar o edifício em questão.

$C_{\text{arrefecimento}}$  – Carga da estação de arrefecimento, energia necessária para a estação de arrefecimento de forma a climatizar o edifício em questão.

$C_d$  – Carga diária, energia necessária para um determinado dia de forma a climatizar o edifício em questão

$C_h$  – Carga horária, energia necessária para uma determinada hora de forma a climatizar o edifício em questão.

$C_m$  – Carga mensal, energia necessária para um determinado mês de forma a climatizar o edifício em questão.

$C_{\text{média}}$  – Carga média, energia necessária para climatizar o edifício em questão assumindo que todos os meses têm condições climáticas iguais.

$C_p$  – Calor específico.

$CCT_{\text{mês}}$  – Contribuição para a carga total para cada mês.

$CCD_{\text{hora}}$  – Contribuição para a carga diária para cada hora.

$D_m$  – Desvio percentual da média mensal.

$E$  – Irradiação que atinge a cobertura do vidro.

$FC$  – Factor de correcção da potência da torre de arrefecimento, em função da humidade do local.

$m_{\text{água}}$  – Massa de água.

$N_{\text{dias/mês}}$  – Número de dias para um determinado mês.

$\eta$  – Rendimento.

$\eta_o$  – Rendimento do colector somente considerando as perdas ópticas.

$O_{\text{hora}}$  – Ocupação por hora.

$P$  – Potência.

$P_{\text{corrigida}}$  – Potência da torre de arrefecimento corrigida em função da humidade do local.

$\dot{Q}$  - Caudal volúmico.

$\Delta T$  – Diferença de temperatura.

$\Delta T_{\text{aprox.}}$  - Diferença de temperatura entre a temperatura a saída da torre de arrefecimento e a temperatura de bolbo húmido.

$T_{\text{ent.torre}}$  – Temperatura da água à entrada da torre de arrefecimento.

$T_{\text{saída.torre}}$  – Temperatura da água à saída da torre de arrefecimento.

$U_{L1}$  – Coeficiente global de perdas lineares.

$U_{L2}$  – Coeficiente global de perdas quadrático.

# **1 Introdução**

## **1.1 Objectivo**

Tendo em consideração as políticas ambientais com o objectivo de diminuir os consumos de combustíveis e respectivas emissões de gases com efeito estufa, através da sua substituição por energias renováveis ou com o aumento da eficiência energética e o pouco uso que a energia solar térmica tem em Portugal, em comparação com a disponibilidade do recurso e a sua utilização na Europa, a presente tese apresenta o trabalho desenvolvido com o objectivo estudar a implementação de campos de colectores solares em quatro edifícios da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL). Os edifícios em estudo são: edifício VII, VIII, IX e X. Os estudos têm como objectivo o apoio à climatização na estação de aquecimento, através do aproveitamento do calor produzido para climatização dos edifícios, e na estação de arrefecimento, através do uso de um “chiller” de absorção, que utiliza o calor gerado nos campos solares para produzir água fria, que por sua vez é usada na climatização dos edifícios. Pretende-se analisar os sistemas do ponto de vista da sua viabilidade económica e financeira, tendo em consideração o custo aproximado dos sistemas e a energia poupada com o uso dos campos solares.

## **1.2 Revisão bibliográfica**

A implementação de energias renováveis como alternativa de climatização em universidades não é algo de novo, existindo estudos que utilizaram variados métodos de climatização. Na Universidade Shanghai Jiao Tong na China utilizaram-se diferentes sistemas de climatização, de forma a satisfazer as diferentes necessidades de climatização do edifício, nomeadamente uma bomba de calor geotérmica e um micro sistema de trigeriação para o sistema central e como sistema paralelo, um chiller de absorção a energia solar e um sistema de arrefecimento por desumidificação com recurso a energia solar. Como resultado, atingiram-se poupanças energéticas na ordem dos 57%, quando comparado com um sistema de climatização de ar condicionado do tipo “split” e com 78% da energia proveniente de fontes renováveis [1]. Na Universidade de Southampton na Inglaterra estudaram a viabilidade de um sistema de produção de electricidade e calor através de painéis fotovoltaicos e bombas de calor, respectivamente. Ambos os sistemas resultam financeiramente viáveis [2]. A utilização de bombas de calor sejam elas aerotérmicas, no qual a fonte de calor é o ar, ou geotérmicas, onde a fonte de calor encontra-se no solo, são uma opção viável para os edifícios

estudados. No entanto, na presente dissertação não foram estudados outros métodos de climatização.

A utilização de “chillers” de absorção com energia solar como fonte de calor foram utilizados em sistemas experimentais [3, 4, 5] e em casos práticos [6,7, 8]. A utilização deste tipo de sistema pode produzir poupanças na ordem dos 40% - 50% em energia primária consumida, para aplicações no sul da Europa e zonas do Mediterrâneo [7].

Na presente dissertação os estudos foram realizados com recurso ao programa SolTerm – Análise de desempenho e pré-dimensionamento de Sistemas Solares, programa desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). Existe outro programa de simulação de sistemas solares térmicos com o nome “F-Chart Solar Systems Analysis”, no entanto, optou-se pelo SolTerm, pois este foi especialmente concebido para as condições climáticas e técnicas de Portugal. O SolTerm foi utilizado no estudo da aplicação de sistemas solares térmicos para o apoio a climatização de edifícios [9, 10] e para a produção de águas quentes sanitárias [11].

### **1.3 História resumida das alterações climáticas**

A energia é essencial para a humanidade, seja na forma de calor, electricidade ou combustíveis, a energia sustenta o actual modo de vida. O grande impulsionante do uso da energia em grande escala foi a invenção do motor a vapor em 1712, por Thomas Newcomen, invenção que permitiu a revolução industrial, que ocorreu entre 1840 e 1970. Em 1958, Charles David Keeling, inicia um programa de leituras sistemáticas do CO<sub>2</sub> na atmosfera, em Mauna Loa no Havai e na Antártida, que 4 anos depois produz a primeira prova inequívoca de que a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera está a aumentar [12, 13].

No ano de 1972 decorre a primeira conferência das nações unidas sobre o ambiente. O programa das nações unidas para o ambiente é criado como resultado da conferência. O Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) é criado em 1988 com o objectivo de reunir e avaliar as evidências das alterações climáticas. O IPCC apresenta, em 1990, o primeiro relatório de avaliação. Este relatório concluiu que as temperaturas subiram entre 0,3 e 0,6°C durante o século passado, que as emissões causadas pela humanidade aumentaram a concentração natural de gases com efeito de estufa e que esse aumento originará um aquecimento. Na Cimeira da Terra no Rio de Janeiro em 1992, os governos participantes aceitam a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, com o objectivo chave de estabilizar as concentrações de gases com efeito de estufa de forma a prevenir interferências humanas no sistema climático. Em 1995, o segundo relatório do IPCC conclui que existe uma influência humana nas alterações climáticas. Esta afirmação ficou conhecida como a primeira declaração da responsabilidade da humanidade pelas alterações climáticas [12,14,15, 16, 17].

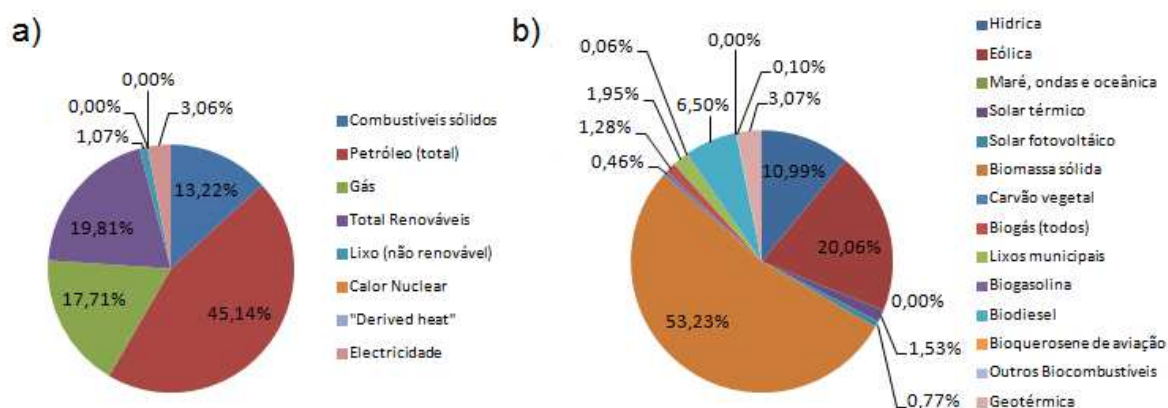
O protocolo de Quioto é acordado em 1997, com o compromisso das nações desenvolvidas de reduzir em média 5% as emissões de gases com efeito de estufa durante o período de 2008 a



2012. Os Estados Unidos retiram-se do protocolo de Quioto em 2001. No mesmo ano, o terceiro relatório do IPCC apresenta novas e mais fortes provas de que as emissões humanas de gases com efeito de estufa são a principal causa do aquecimento registado na segunda parte do século 20. Em 2006, o relatório Stern conclui que as alterações climáticas poderão danificar o produto interno bruto global até 20%, caso nada seja feito, mas a sua contenção custaria cerca de 1%. Em 2007, é apresentado o quarto relatório do IPCC, que conclui, com 90% de probabilidade, que as alterações climáticas actuais são consequência das emissões de gases com efeito de estufa por parte da humanidade. A China ultrapassa os Estados Unidos como maior emissor mundial de gases com efeito de estufa em 2009. No mesmo ano, 192 governos reúnem-se na conferência das nações unidas sobre as alterações climáticas em Copenhaga com o objectivo de obter um novo acordo global, no entanto, o resultado foi pouco satisfatório, uma vez que o acordo obtido não impunha qualquer imposição legal quanto a medidas para a redução de emissões de CO<sub>2</sub>. Em 2010, conclui-se a conferência das nações unidas sobre as alterações climáticas, no México, com um acordo que reconhece que as alterações climáticas representam um perigo urgente e potencialmente irreversível para a humanidade e que este tem de ser abordado por todas as partes afectadas [12, 18, 19, 20, 21, 22 ].

### **1.4 Energia em Portugal**

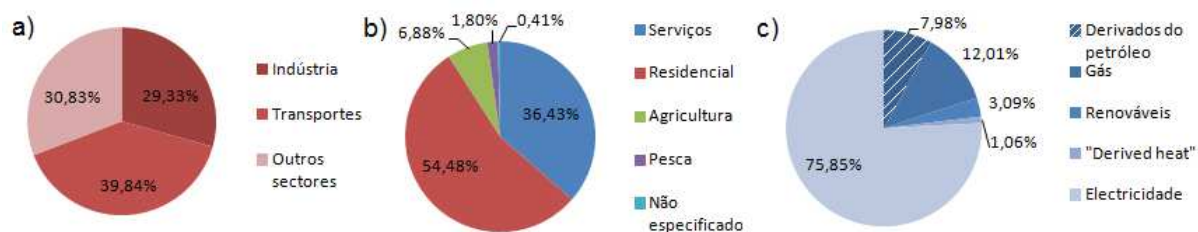
Portugal é um país energeticamente dependente do exterior, importando 79.8% da energia que consome [23]. As figuras 1.1 e 1.2 foram obtidas de dados do Eurostat sobre os balanços energéticos dos países da União Europeia [24]. A figura 1.1.a apresenta os tipos de energia primária consumida em Portugal no ano de 2012. As maiores parcelas correspondem ao petróleo, que engloba todos os seus combustíveis derivados, seguido das renováveis, que engloba todas as formas apresentadas na figura 1.1b, do gás e dos combustíveis sólidos. A parcela das renováveis já possui um peso significativo na produção nacional. Os principais tipos são: a biomassa sólida, que é responsável por mais de metade da produção renovável, seguida da eólica com 20%, da hídrica com 11% e do biodiesel com 6,5%. A produção a partir da energia solar, seja fotovoltaica ou térmica, é muito pequena.



**Figura 1.1** – Tipos de energia primária (a) e tipos de energia renovável (b) consumidos em Portugal no ano de 2012.

A distribuição dos consumos de energia final por sector é bastante equilibrada (figura 1.2a), no entanto, a parcela correspondente aos “outros sectores” é o maior consumidor de energia. Esta parcela engloba os subsectores apresentados na figura 1.2b, dos quais se destacam o sector residencial, com a maior fatia do consumo, seguido do sector de serviços, agricultura, pesca e restantes não especificados. Os subsectores, residencial e serviços, apresentam um peso significativo no consumo nacional de energia, o que os torna candidatos a melhorias que possibilitem a redução desses consumos. As melhorias podem ser na estrutura do edifício (melhor isolamento), implementação de medidas que reduzam os consumos (desligar equipamentos/iluminação) e sistema de climatização mais eficientes ou com recurso a energias renováveis como fonte de calor/frio.

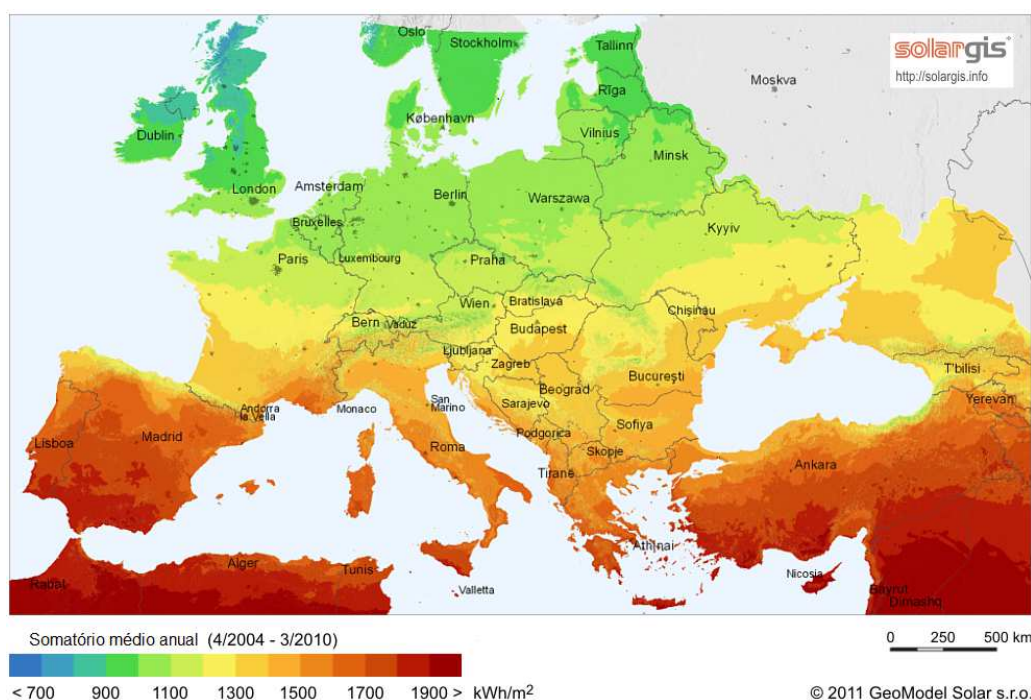
A figura 1.2c mostra os tipos de energia consumidos pelo sector serviços. A electricidade corresponde à maior fonte, sendo utilizada para o funcionamento de equipamentos, iluminação e para a climatização no período de arrefecimento. O consumo de combustíveis (derivados do petróleo e gás) e “derived heat” correspondem às necessidades de aquecimento ambiente, confecção de alimentos e produção de AQS, sendo as duas últimas aplicáveis a edifícios públicos com cantinas e ou balneários. A parcela renovável corresponde ao uso de fontes de energia como o solar térmico, carvão vegetal, biodiesel ou energia geotérmica.



**Figura 1.2** – Distribuição dos consumos de energia final por sector (a), subsectores da parcela “outros sectores” (b) e tipos de energia final consumidos pelo subsector serviços (c) para o ano de 2012.

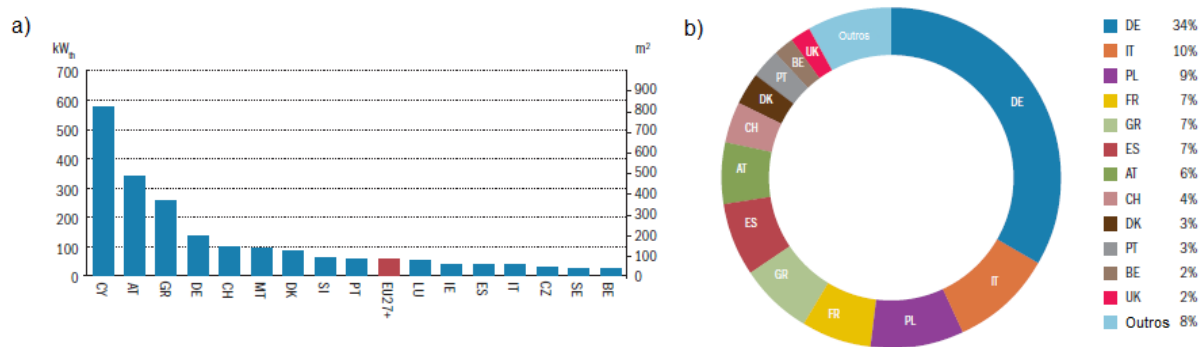
## 1.5 Energia Solar em Portugal

Como anteriormente mencionado (figura 1.1b), a utilização da energia solar térmica em Portugal é bastante pequena, tendo em consideração a abundância do recurso como é visível na figura 1.3. Esta figura apresenta a irradiação global horizontal para a Europa. A irradiação global horizontal é a radiação total que atinge uma superfície horizontal no solo e é composta pela irradiação directa e difusa. Para Portugal o número de horas de insolação varia entre 1800 e 3100 horas por ano e a irradiação global horizontal entre 1400 e 1800 kWh/m<sup>2</sup> [25].



**Figura 1.3** – Irradiação global horizontal na Europa (adaptado de [26]).

Comparativamente com outros países da Europa, Portugal apresenta valores de potência solar térmica instalada por cada 1000 habitantes abaixo de países como Chipre, Áustria, Grécia, Alemanha, Suíça, Malta e Dinamarca (figura 1.4a). É de salientar que países como a Alemanha e a Dinamarca possuem irradiações muito inferiores às portuguesas. No entanto a sua aposta nesta tecnologia é superior à portuguesa. Quando comparado com países com insolações semelhantes (Grécia, Malta ou Chipre), Portugal encontra-se muito atrás na potência solar térmica instalada e a sua aposta na instalação de novos colectores térmicos é das mais baixas, representado 3% da capacidade instalada na Europa no ano de 2012 (figura 1.4b). Considerando a grande disponibilidade do recurso e a necessidade de diminuir consumos de combustíveis, importados e poluentes, existe uma grande margem para o crescimento da produção nacional de energia solar térmica.



**Figura 1.4** – Contribuição no mercado solar térmico europeu, nova capacidade instalada em 2012 (a) e potência solar térmica em funcionamento, per 1000 capita (b) (adaptados de [27]).

## 1.6 Legislação portuguesa sobre energia

Em 1998, através da resolução nº 72/98 do conselho de ministros, o governo português toma as primeiras medidas em relação ao problema das alterações climáticas. Esta legislação teve como objectivo cumprir os compromissos assumidos conjuntamente com os restantes países da União Europeia, na Convenção Quadro das Nações Unidas de 1992 e na assinatura do Protocolo de Quioto, com o intuito de limitar e reduzir as emissões dos gases com efeito de estufa. Na legislação “afigura-se necessário constituir uma comissão, composta por todos os departamentos de Estado com competências nesta área e com um mandato que lhe permita responder às solicitações internacionais e às necessidades nacionais” [28].

Devido à necessidade de determinar a capacidade de Portugal atingir os níveis de emissões acordados no protocolo de Quioto, de um aumento até 27% das suas emissões face às emissões de 1990, e do governo assumir um papel de agente regulador das acções necessárias a implementar pelos diferentes sectores de actividade e pelos cidadãos, mantendo ao mínimo indispensável os eventuais impactos negativos sobre a sociedade, é aprovada a resolução do conselho de ministros nº 59/2001. Esta resolução engloba a aprovação de uma estratégia para as alterações climáticas de modo a satisfazer as necessidades anteriormente mencionadas e o alargamento da composição da Comissão para as Alterações Climáticas, criada pela resolução nº 72/98 do conselho de ministros, de modo a incluir os Ministérios das Finanças e Educação [29].

Em conformidade com os objectivos assumidos pela resolução nº 59/2001 do conselho de ministros, é aprovado o programa E4, Eficiência Energética e Energias Endógenas, através da resolução do conselho de ministros nº 154/2001. Este programa tem como objectivos ultrapassar os desequilíbrios estruturais do País na área da energia, potenciar a concretização do mercado interno da energia da União Europeia, agilizar o sistema energético português, promover o vasto leque de medidas de eficiência energética e facilitar o acesso e o desenvolvimento da produção de electricidade por vias progressivamente mais limpas e renováveis [30].

Em 2003 é aprovada a resolução nº 63 do conselho de ministros, na qual se aprova uma nova política energética para Portugal e se revoga a anterior resolução nº 154/2001 do conselho de ministros, que tinha aprovado o programa E4. A nova política energética assenta sobre três eixos estratégicos. São eles a necessidade de assegurar a segurança do abastecimento nacional, o fomentar do desenvolvimento sustentável e a promoção da competitividade nacional. Esta nova política engloba o programa E4 da anterior [31].

Devido à importância da política energética nacional, factor importante do crescimento sustentado da economia e da sua competitividade, o governo aprova a resolução nº 169/2005 do conselho de ministros. Esta nova estratégia tem como objectivo a reformulação e actualização das metas aprovadas na resolução nº 63/2003 do conselho de ministros, sendo estas: a estimulação rápida da modernização do sistema electroprodutor, o impulsionamento da liberalização do mercado da electricidade e gás natural, o reforço do desenvolvimento da produção de electricidade a partir de fontes renováveis e aposta na eficiência energética [32].

As estratégias anteriormente descritas apresentam os objectivos nacionais para todos os sectores da sociedade. A presente dissertação tem como tema a climatização de edifícios públicos e para tal, existe legislação mais específica. Essa legislação foi aprovada em 2006 sobre a forma de três Decretos-Lei. São eles os seguintes:

- Decreto-Lei nº 78 de 2006, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios e o Certificado de Desempenho Energético.
- Decreto-Lei nº 79 de 2006, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE).
- Decreto-Lei nº 80 de 2006, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Os Decretos-Lei acima mencionados foram aprovados devido à imposição por parte da União Europeia, através da Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios, com o objectivo de “promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na comunidade, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade económica” [33].

Com a aprovação do Decreto-Lei nº 78/2006 o governo compromete-se a assegurar “a melhoria do desempenho energético e da qualidade do ar interior dos edifícios” e “transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios” [34].

O Decreto-Lei nº 79/2006 é uma revisão do Decreto-Lei nº 118/98, que por sua vez tinha substituído o Decreto-Lei nº 156/92, e aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE). A versão do RSECE de 1998 não teve grande aplicação prática por parte da maioria dos intervenientes no processo, o que combinado com o aumento da procura por equipamentos de climatização, na década seguinte à aprovação, resultou em problemas de qualidade de ar interior, alguns com impacto significativo na saúde pública. De forma a corrigir este problema e

satisfazer as imposições da Directiva 2002/91/CE é aprovado o novo RSECE com quatro objectivos. São estes os seguintes: definir as condições de conforto térmico e de higiene nos diferentes espaços do edifício, melhorar a eficiência energética dos edifícios, impor regras de eficiência aos sistemas de climatização e monitorizar as práticas de manutenção dos sistemas de climatização [35].

O Decreto-Lei nº 80/2006 é uma revisão do Decreto-Lei nº 40/90, o qual foi o primeiro instrumento legal em Portugal a impor requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações de forma a garantir conforto térmico durante todo o ano, sem o uso excessivo de energia e “garantir a minimização de efeitos patológicos derivados de condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente”. A aplicação desta legislação resultou numa melhoria da qualidade da construção em Portugal. No entanto, existem pressupostos que sofreram alterações desde a aprovação em 1990, como o aumento de meios activos de controlo das condições ambientes interiores ou a necessidade de impor valores para as taxas de renovação do ar interior. De forma a corrigir estes pressupostos e transpor as imposições da Directiva 2002/91/CE é aprovado a nova versão do RCCTE através do Decreto-Lei nº 80/2006. Esta nova versão estabelece duas grandes regras aos projectos de todos os edifícios de habitação e serviços, sem sistema de climatização centralizados. São estas as seguintes: que as necessidades de conforto térmico, qualidade de ar interior e água quente sanitária sejam satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia e que se minimizem as situações patológicas causadas por condensações superficiais ou internas [36].

Em Janeiro de 2011 é aprovada a resolução nº 2/2011 do conselho de ministros, que tem como objectivos a aposta nas energias renováveis e na eficiência energética de forma a posicionar Portugal como um dos líderes da revolução energética. No entanto, esta legislação apresenta pouco foco nas energias renováveis, focando-se principalmente na eficiência energética. É apresentado o programa de Eficiência Energética na Administração Pública (ECO.AP) com o objectivo de atingir um aumento da eficiência energética de 20% até 2020, face aos valores actuais [37].

### **1.7 Política Ambiental da Universidade**

As preocupações ambientais por parte das Universidades iniciaram-se em 1988, ano no qual, a Conferência dos Reitores da Europa (CRE) lançou o programa COPERNICUS (*Cooperation Programme in Europe for Research on Nature and Industry through Coordinated University Studies*) com o objectivo de estimular a partilha de conhecimento e experiência, na área do desenvolvimento sustentável, entre Universidades e encorajá-las à criação de parcerias com a indústria. Em 1992, durante a Cimeira da Terra no Rio, a CRE lançou um apelo urgente para o envolvimento das universidades no desenvolvimento sustentável. Como consequência o programa COPERNICUS desenvolveu uma estratégia própria de acordo com os princípios estabelecidos pela Carta das Universidades para o Desenvolvimento Sustentável. Esta Carta foi assinada em 1994 por 196 universidades, de entre as quais a Universidade Nova de Lisboa. Actualmente encontra-se subscrita por mais de 320 estabelecimentos de ensino superior em 38 países europeus. No mesmo ano, nos

Estados Unidos da América realizou-se o primeiro encontro *Campus Earth Summit*, no qual se reuniram 120 universidades americanas e 29 internacionais, com o objectivo de discutir e partilhar informações de forma a redesenhar a educação e as práticas ambientais dos Campi. O resultado do encontro foi o documento *Campus Blueprint for a Sustainable Future*, que apresenta as seguintes recomendações de acções a implementar pelos Campi [38,39]:

1. Integrar o conhecimento ambiental em todas as disciplinas relevantes;
2. Melhorar as ofertas de cursos de pós-graduação em estudos ambientais;
3. Fornecer oportunidades para os alunos estudarem o campus e os assuntos do ambiente local;
4. Implementar auditorias ambientais ao campus;
5. Instituir uma política de consumo responsável;
6. Reduzir os resíduos produzidos no campus;
7. Maximizar a eficiência energética do campus;
8. Fazer da sustentabilidade ambiental uma prioridade para os usos do solo, os transportes e o planeamento dos edifícios no campus;
9. Promover um centro ambiental de estudantes;
10. Apoiar os estudantes que procuram carreiras ambientalmente responsáveis.

Em 2002 é criado a *Global Higher Education for Sustainability Partnership (GHESP)*, uma parceria de quatro instituições, nomeadamente: *Association of University Leaders for a Sustainable Future (ULSF)*, *COPERNICUS-CAMPUS*, *International Association of Universities (IAU)* e a *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)*. Esta parceria tem como objectivo criar um espaço global de aprendizagem para o desenvolvimento sustentável, através da colaboração e troca de informação entre as instituições por todo o mundo [38,40].

A Universidade Nova de Lisboa (UNL) é subscritora da Carta das Universidades para o Desenvolvimento Sustentável e membro da rede *COPERNICUS-CAMPUS*. Como tal, e tendo em consideração o âmbito desta tese, apresenta-se a política ambiental do campus da Caparica, onde se localiza a Faculdade de Ciências e Tecnologia, que consiste de cinco pontos [38, 41]. São eles:

1. Promover a melhoria contínua do desempenho ambiental das suas actividades, visando sempre a prevenção da poluição e a utilização sustentável dos recursos ambientais;
2. Minimizar a produção de resíduos através de medidas de redução, reutilização e reciclagem;
3. Cumprir os requisitos legais aplicáveis e outros requisitos subscritos relativos aos seus aspectos ambientais;
4. Integrar práticas de eco-gestão nas actividades dos sectores departamentais e dos serviços de apoio que se inserem no campus universitário da FCT-UNL (campus da Caparica) e fomentar a melhoria do seu desempenho ambiental e sustentabilidade;
5. Promover a consciencialização e o envolvimento de todos os que fazem parte da FCT/UNL e assegurar o compromisso de outras entidades que coexistam no campus para com a melhoria contínua do seu desempenho ambiental.

O cumprimento da política acima descrita é realizado através do projecto Campus Verde, que teve início em 1998 por iniciativa de dois estudantes e um professor. Em 2000 o projecto obteve financiamento pela FCT-UNL, e iniciou-se a criação do sistema de gestão ambiental (SGA) do campus da Caparica. Uma nova fase iniciou-se em 2006, com o objectivo de implementar e certificar um sistema de gestão ambiental no campus da FCT-UNL de acordo com a Norma NP EN ISO 14001:2004. Esta certificação integra quatro fases [38]:

1. “Lançamento” e sensibilização;
2. Diagnóstico ambiental ao campus da FCT-UNL;
3. Desempenho e implementação do sistema de gestão ambiental e do plano de acções;
4. Preparação para auditoria de certificação.



## 2 Descrição dos edifícios em estudo

Os Edifícios em estudo pertencem ao campus da Caparica da Universidade Nova de Lisboa no qual se encontra instalada a Faculdade de Ciências e Tecnologia. Os edifícios selecionados são os edifícios VII, VIII, IX e X, representados na figura 2.1. A escolha recaiu nestes edifícios pois apresenta condições de orientação e construção semelhantes e ainda pela sua proximidade física pelo que poderia existir ligação entre os sistemas.

Inicialmente considerou-se a hipótese de dimensionar um sistema centralizado que servisse os 4 edifícios. No entanto, esta hipótese foi abandonada devida às perdas significativas entre o armazenamento centralizado e os edifícios e também devido à dificuldade do sistema em garantir uma grande quantidade de água a elevada temperatura.

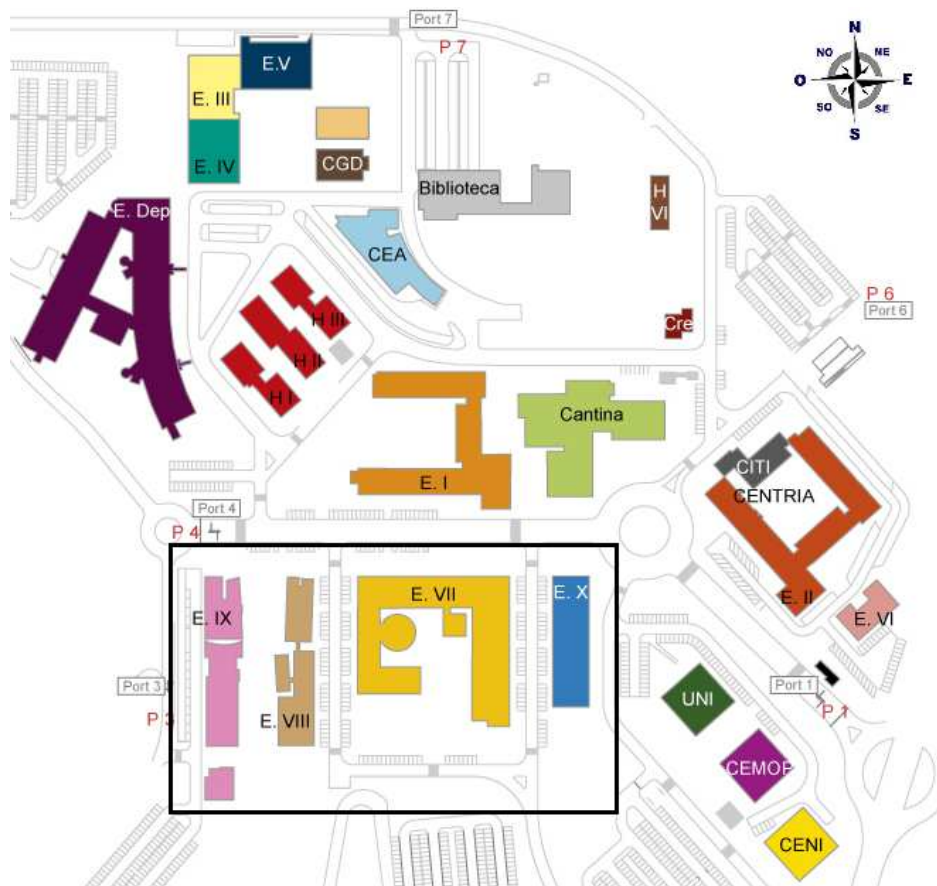


Figura 2.1 – Mapa do campus da Caparica. [42]

## 2.1 Características relevantes dos edifícios

### 2.1.1 Edifício VII

Neste edifício está instalado o Departamento de Matemática e o Complexo Pedagógico e foi inaugurado 1998. É constituído por 3 pisos e uma área bruta de 8996 m<sup>2</sup>, nos quais se incluem salas de aulas, gabinetes, laboratórios, anfiteatros e ainda um bar.

Do ponto de vista da climatização, o edifício possui um sistema centralizado, com excepção dos anfiteatros que são climatizados individualmente. As necessidades de aquecimentos são garantidas por duas caldeiras Roca modelo NG 400/215 e as necessidades de arrefecimento por um chiller ATEC modelo EAW/FSA-250. A distribuição da energia é realizada por meio de uma rede de distribuição de água e de unidades terminais do tipo ventiloconvector. [43]



**Figura 2.2** – Vista superior do edifício VII. [44]

### 2.1.2 Edifício VIII

Neste edifício encontra-se instalado o Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, inaugurado em 1999. É constituído por 3 corpos, designados corpo Norte, corpo Central e corpo Sul e possui 4 pisos com excepção do corpo Norte que só possui 3, totalizando uma área bruta de 7530 m<sup>2</sup>. O edifício aloja salas de aulas, gabinetes, laboratórios e um bar.

A climatização é realizada de forma centralizada quanto às necessidades de aquecimento e de uma forma descentralizada, e parcial, quanto às necessidades de arrefecimento. O aquecimento é providenciado por duas caldeiras IGNIS modelo NAR 200 na forma de água quente que é conduzida até as UTA por meio de um circuito em anel na cobertura. O arrefecimento existe nos gabinetes, através de unidades tipo split marca MIDEA modelo MSG-09HRN2, e em duas salas no corpo central (antigas bibliotecas), através de UCAs marca Ciatesa modelo IPB-041. O restante edifício é arrefecido por meio de “free cooling” quando as condições de temperatura exterior assim o permitem. [45]



**Figura 2.3** – Vista superior do edifício VIII. [44]

### 2.1.3 Edifício IX

Neste edifício estão instalados dois departamentos: o Departamento de Engenharia Civil e o Departamento de Geotecnia e Ciências da Terra. Semelhante ao edifício VIII, o IX também se encontra dividido em 3 corpos, corpo Sul, corpo Central e corpo Norte, sendo este último exclusivo do Departamento de Geotecnia e Ciências da Terra. Possui 4 pisos, com excepção do corpo norte que só possui 3 pisos, e totaliza uma área bruta de 7848 m<sup>2</sup>.

A climatização é centralizada no que diz respeito ao aquecimento, sendo composta por duas caldeiras Sant' Andrea modelo GNE 200, uma rede de distribuição por água em anel presente na cobertura e varias unidades do tipo UTA. O arrefecimento é realizado em algumas zonas por UCAs, e nos restantes espaços por “free cooling”. Os anfiteatros são climatizados de forma separada por equipamentos próprios para o efeito. [46]



**Figura 2.4** – Vista superior do edifício IX. [44]

#### **2.1.4 Edifício X**

Neste edifício encontra-se instalado o departamento de Engenharia Eletrotécnica. Possui 4 pisos, sendo o primeiro apenas uma cave e sala de máquinas, totalizando uma área bruta de 6287 m<sup>2</sup>.

A climatização é realizada através de um sistema centralizado tanto para o aquecimento como para o arrefecimento. O aquecimento é garantido por uma caldeira Roca modelo CPA 250 A e um sistema de distribuição de água até ventiloconvectores e até duas UTA's. O arrefecimento é garantido por um chiller Lennox modelo MCH 242 PK SI e o mesmo sistema de distribuição que no aquecimento.

É de salientar que, por motivos económicos, somente a ala Este foi equipada com unidades terminais tipo ventiloconvectores. A ala Oeste é climatizada por radiadores eléctricos em caso de necessidade.

As UTAs instaladas na cobertura somente climatizam ar novo de insuflação. [47]



**Figura 2.5** – Vista superior do edifício X. [44]

## 2.2 Cargas térmicas dos Edifícios

As cargas térmicas dos edifícios correspondem à energia necessária fornecer ou retirar, consoante tratar-se da estação de aquecimento ou arrefecimento, para manter os espaços úteis nas condições de conforto desejadas. Os valores destas cargas são necessários para o dimensionamento dos campos solares, uma vez que o valor da fracção solar (F.S) é obtido quando comparada a energia fornecida pelo campo solar com a carga necessária. Este valor reflecte a contribuição em termos de energia do campo solar. Quanto maior este valor, maior será a rentabilidade do campo solar.

De forma a obter os valores das cargas para os quatro edifícios foram pedidos os consumos de gás propano (usado para o aquecimento) e de energia eléctrica (usada para o arrefecimento) à DAT. Após a análise dos valores fornecidos encontraram-se alguns problemas, descritos em seguida.

Em relação aos consumos de gás, estes dizem respeito aos consumos globais dos edifícios VII, VIII, IX e Departamental, não existindo no período correspondente aos dados obtidos, qualquer contador individual por edifício. O edifício X é abastecido por outro depósito que também subministra os balneários do campo de jogos, mas por indicações da DAT estes balneários não se encontram em funcionamento. Surge então o problema de separar os consumos de cada edifício. Por indicação da DAT o edifício Departamental não consome gás. A somar a este problema existe também a inexactidão destes consumos, ou seja, não existem garantias que os valores de gás que foram consumidos realmente são os necessários para colmatar as cargas térmicas, uma vez que existem zonas não climatizadas, caso da ala oeste do edifício X, e ocorreram períodos de tempo nos quais não existiu climatização em certas partes do edifício VIII.

No que toca às cargas de arrefecimento, esperava-se obter os valores de energia eléctrica utilizada nos equipamentos de refrigeração. Tal não foi possível, uma vez que, não existe maneira exacta de desagregar os consumos gastos nos equipamentos de frio em relação aos totais do edifício. Também surge o mesmo problema acima mencionado da incerteza destes consumos.

De forma a ultrapassar estes problemas, optou-se por obter as cargas térmicas a partir dos dados de duas teses de mestrado, uma das quais já publicada [48], correspondente ao estudo do edifício VIII do ponto de vista de racionalização energética à luz do RSECE, e a outra ainda em execução relativa ao edifício X. A tabela 2.1 apresenta os valores de cargas de aquecimento e arrefecimento dos edifícios VIII e X assim como as cargas de arrefecimento corrigidas pelo rendimento do chiller, obtendo-se assim o valor de energia que realmente se tem de fornecer ao chiller. O rendimento do chiller é de 73%. É ainda apresentado o  $IEE_{ref.existente}$ , este valor corresponde ao indicador de eficiência energética. Este valor corresponde ao limite dos consumos globais específicos de cada tipo de edifício estipulados no anexo X do decreto-lei 79 de 2006 e tendo em consideração as diferentes tipologias existentes em cada edifício, como estipulado pelo artigo nº 31 ponto 4 do decreto-lei 79 de 2006 [35].

**Tabela 2.1** – Valores das cargas anuais dos edifícios VIII e X.

	Ed.VIII	Ed.X
IEE [kgep/(m2.ano)]	20,62	18,78
IEE [kWh/(m2.ano)]	240	218,41
Carga aquecimento [kWh/ano]	141928	153642
Carga arrefecimento [kWh/ano]	15265	22565
Carga arrefecimento corrigida [kWh/ano]	19386,33	28657,55

Não existindo trabalhos semelhantes aos anteriormente mencionados, relativos aos restantes dois edifícios (VII e IX), a solução encontrada foi a de ponderar as cargas dos restantes edifícios em função do seu respectivo  $IEE_{ref.existente}$  e do  $IEE_{ref.existente}$  do edifício VIII. Esta ponderação é possível uma vez que os edifícios são muito parecidos no que toca aos materiais construtivos, orientação e tipologias (salas de aula, gabinetes e laboratórios). Segundo o RSECE quando um edifício é composto por mais de uma tipologia é necessário calcular o  $IEE_{ref.existente}$  tendo em consideração o IEE das respectivas tipologias e a sua área útil (equação 2.2). O valor do IEE de cada tipologia encontra-se estabelecido no anexo X do RSECE.

$$IEE_{ref.existente} = \frac{IEE_{ref.Escola} \times A_{Escola} + IEE_{ref.Escritórios} \times A_{Escritórios} + IEE_{ref.Cozinha} \times A_{Cozinha}}{A_{Escola} + A_{Escritórios} + A_{Cozinha}} \quad (2.1)$$

**Tabela 2.2** – Áreas das tipologias e respectivo IEE dos edifícios VII e IX.

Área [m <sup>2</sup> ]	Ed.VII	Ed.IX	IEE [kgep/(m <sup>2</sup> .ano)]
Escritórios	1842	901	40
Escola	3303	3100	15
Cozinha	125	0	121

Utilizando a equação 2.1 e os valores da tabela 2.2 obtém-se os valores de  $IEE_{ref.existente}$  dos edifícios VII e IX. Por último, usando os valores de  $IEE_{ref.existente}$  calculados é possível estimar as cargas térmicas dos restantes dois edifícios através de proporcionalidade directa. Os seus valores são apresentados na seguinte tabela:

**Tabela 2.3** – Valores das cargas anuais dos edifícios VII e IX.

	Ed.VII	Ed.IX
IEE [kgep/(m2.ano)]	26,25	20,63
IEE [kWh/(m2.ano)]	305,28	239,92
Carga aquecimento [kWh/ano]	180674	141991
Carga arrefecimento corrigida [kWh/ano]	23772	19395

Note-se que o valor da carga de arrefecimento obtida da ponderação já é a corrigida pelo rendimento do chiller, uma vez que o valor da carga de arrefecimento do edifício VIII usada na ponderação já se encontra corrigida e o rendimento do chiller é igual.





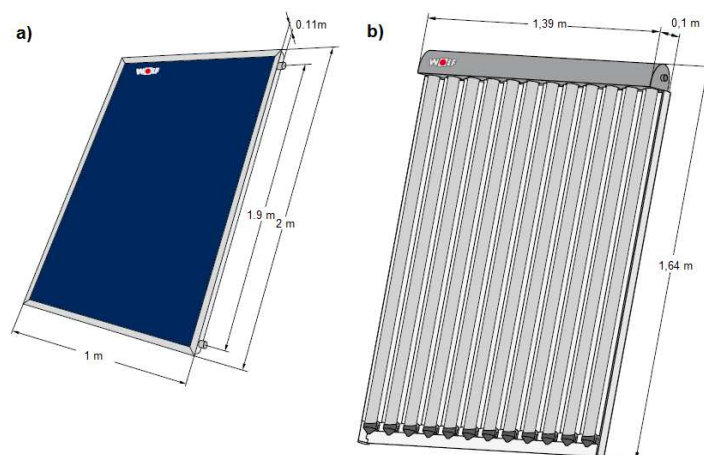
### 3 Descrição do sistema solar proposto

#### 3.1 Tipo de colector a utilizar

Existem vários tipos de colectores, dependendo da finalidade desejada. No caso em estudo os colectores que mais se adequam são os do tipo plano selectivo e os de tubo de vácuo. Os do tipo plano são os mais conhecidos e mais disseminados em Portugal, sendo o tipo escolhido para sistemas termossifão, os sistemas que funcionam sem auxílio de circulador. Os do tipo tubo de vácuo são menos conhecidos em Portugal pois são mais apropriados para climas mais frios, uma vez que têm muito menos perdas para o exterior. Note-se que este facto só se aplica à produção de águas quentes sanitárias. No caso em estudo, no qual são necessárias temperaturas mais elevadas do que as usadas na produção de águas quentes sanitárias, o uso de colectores tubo de vácuo torna-se mais apelativo. Os colectores a utilizar no desenvolvimento deste trabalho são da marca Wolf, modelo F3-1 (plano selectivo) e o modelo CRK-12 (tubo de vácuo) [49].

**Tabela 3.1** – Principais características dos colectores.

	Plano selectivo (F3 - 1)	Tubo de vácuo (CRK - 12)
Rendimento [%]	80,40	93,50
Coeficiente de perda $a_1$ [ $W/m^2 \cdot K$ ]	3,235	0,885
Coeficiente de perda $a_2$ [ $W/m^2 \cdot K^2$ ]	0,012	0,001
Área de absorsor [ $m^2$ ]	2	2



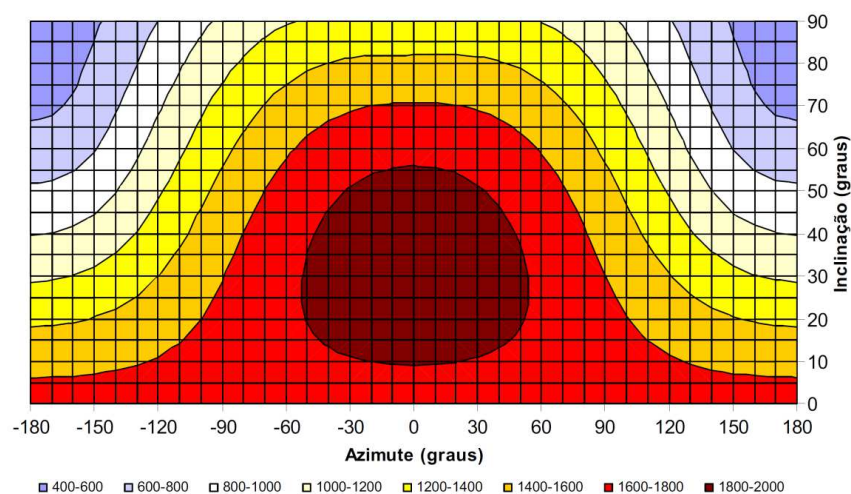
**Figura 3.1** – Colector plano selectivo (a), tubo de vácuo (b) e respectivas dimensões [49].

### 3.2 Número de colectores

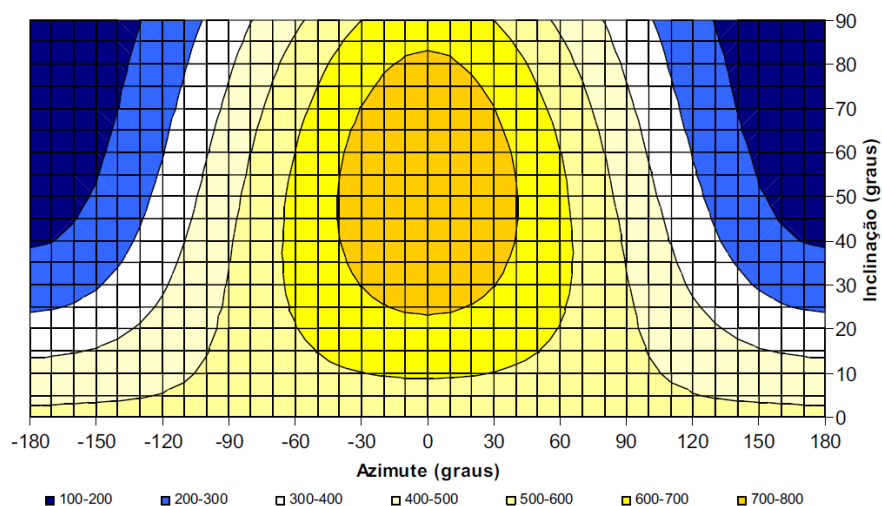
O critério utilizado na definição do número de colectores em cada edifício foi o da máxima quantidade, ou seja, o maior número de colectores que caberiam na superfície de cobertura disponível respeitando o número de colectores em série e a distância mínima entre baterias, distância que corresponde à sombra causada pela bateria mais a sul no solstício de Inverno. A distância entre baterias são 2.91 m e 2.28 m para o tipo plano selectivo e tubo de vácuo respectivamente, sendo estes valores iguais para os 4 edifícios.

A ligação entre colectores da mesma bateria deve ser do tipo paralelo de canais ou paralelo e o número de colectores por bateria está limitado a 5, pelo fabricante, para o tipo plano selectivo. Os do tipo tubo de vácuo não apresentam essa informação no catálogo, pelo que se assumiu o mesmo valor. No entanto o espaço disponível pode nem sempre o permitir.

A inclinação dos colectores afecta a energia captada ao longo do ano e também a distância mínima entre baterias de colectores. O objectivo é aproveitar energia durante todo o ano o que, segundo a figura 3.1, corresponde a uma inclinação de 30°. No entanto, as necessidades energéticas durante o período de aquecimento são bastante superiores às necessidades durante o período de arrefecimento. Juntado a este facto as melhores condições climáticas durante o arrefecimento, optou-se por utilizar uma inclinação que favorece mais o aproveitamento durante o aquecimento. Para tal é necessário ter em consideração a figura 3.2, que apresenta a irradiação para Lisboa durante o semestre de Inverno para as diferentes orientações. Segundo esta figura o ponto de maior irradiação no semestre de Inverno corresponde a uma inclinação de 50° e um azimuth de 0°. No entanto, de um ponto de vista anual (figura 3.1), esta inclinação de 50° encontra-se no limite da zona de maior aproveitamento (1800 – 2000 kWh/m<sup>2</sup>), o que corresponderia a um aproveitamento anual mais baixo. De forma a se obter um bom aproveitamento anual, mas com um ligeiro favorecimento da estação de aquecimento optou-se por uma inclinação de 45°.



**Figura 3.2** – Irradiação em Lisboa para diferente orientação do colector, média anual em kWh/m<sup>2</sup> [25].

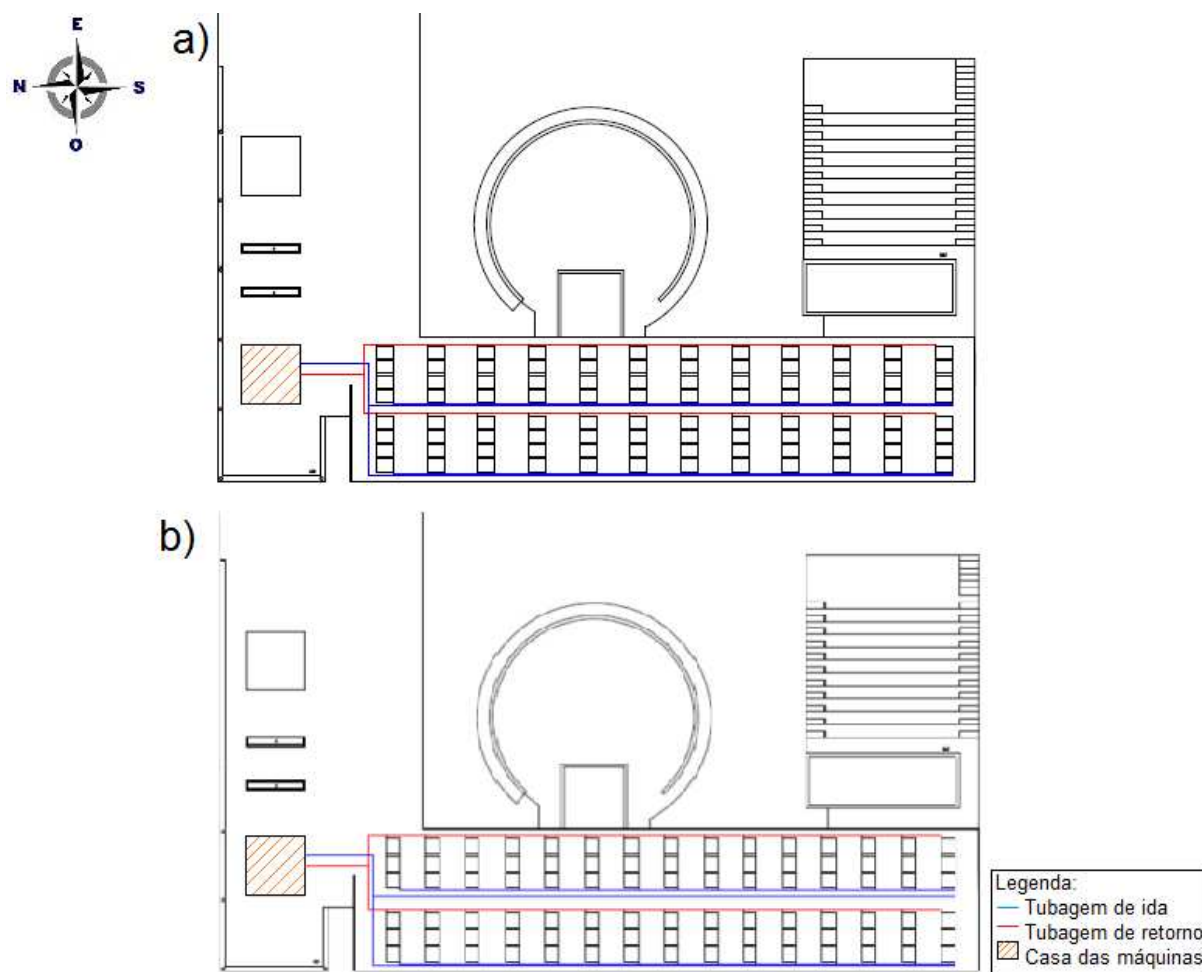


**Figura 3.3** – Irradiação em Lisboa para diferente orientação do colector durante o semestre de Inverno em kWh/m<sup>2</sup> [25].

### 3.2.1 Edifício VII

A cobertura do edifício VII é muito favorável à instalação de colectores solares, uma vez que é completamente plana e não possui obstruções, como unidades de ar condicionados ou chaminés. No entanto, só uma parte da cobertura se encontra disponível, a correspondente à ala Oeste, uma vez que a ala Este encontra-se coberta por colectores fotovoltaicos e a parte central está também destinada para esse efeito, segundo a DAT.

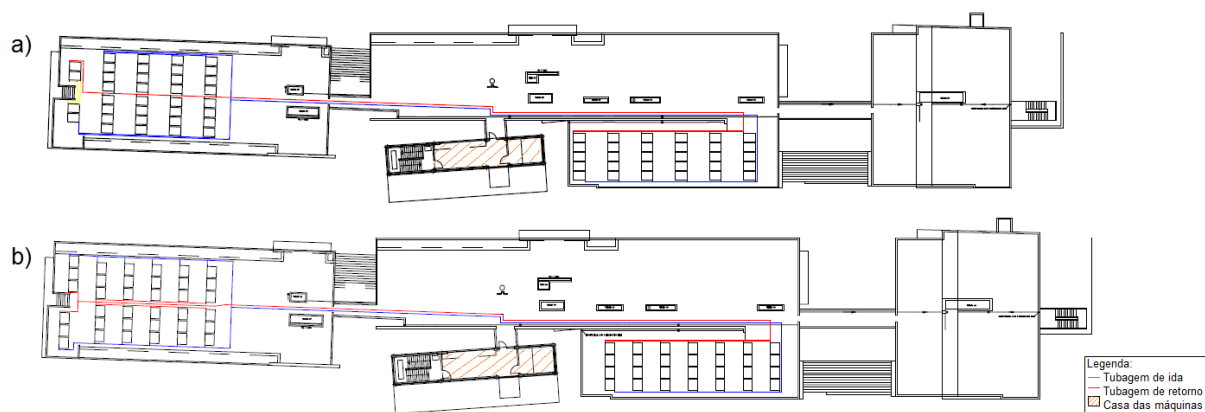
Através do uso das plantas fornecidas pela DAT, determinou-se o número de colectores. Existe espaço para 96 do tipo selectivo e 90 do tipo tubo de vácuo. Cada bateria integra 4 colectores, para o tipo plano selectivo e 3 para o tubo de vácuo. A diferença deve-se exclusivamente à largura da ala oeste.



**Figura 3.4** – Vistas de planta da cobertura da ala oeste do Ed.VII, com o campo solar de colectores planos selectivos (a) e colectores tubo de vácuo (b).

### 3.2.2 Edifício VIII

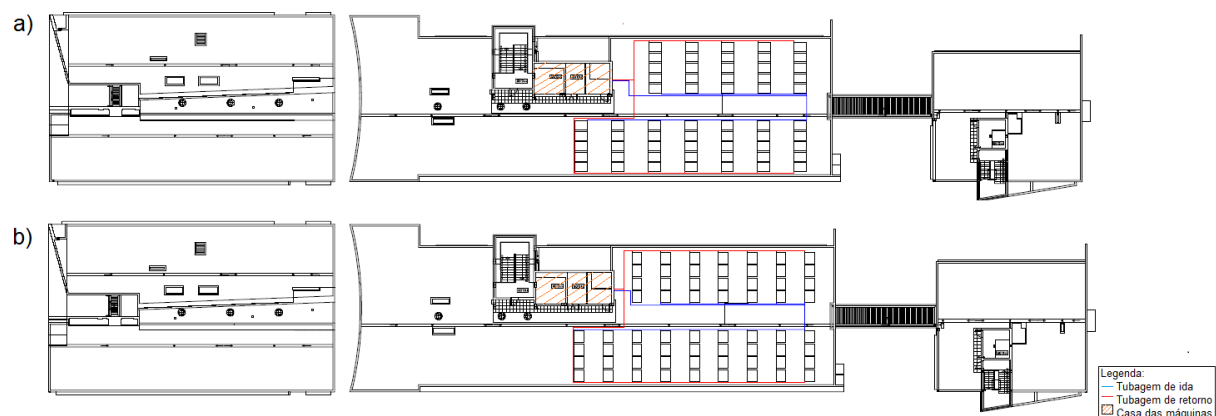
A cobertura deste edifício encontra-se bastante utilizada, como é possível constatar da figura 2.3, por equipamento de climatização. Existe, no entanto espaço disponível, sendo esse o espaço utilizado para a determinação do número de colectores. O espaço disponível localiza-se na ala Oeste do corpo central e na maior parte do corpo Norte. O número de colectores determinado foi de 66 e 64 para os do tipo plano selectivo e tubo de vácuo respectivamente. O número de colectores por bateria são 4 para os plano selectivo e 3 para o tubo de vácuo, sendo este número determinado pela largura do edifício.



**Figura 3.5** – Vista de planta da cobertura do Ed.VIII, com o campo solar de colectores planos selectivos (a) e colectores tubo de vácuo (b).

### 3.2.3 Edifício IX

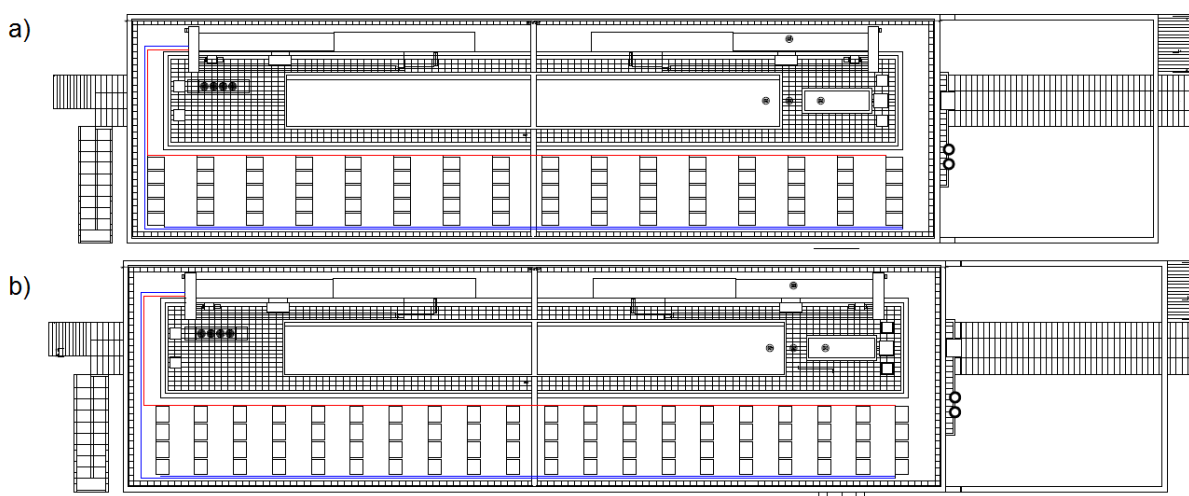
À semelhança do que ocorre no edifício VIII, a cobertura do edifício IX também se encontra bastante preenchida com equipamento de climatização, como é possível verificar na figura 2.4. O espaço disponível que melhor se adequa situa-se no corpo central. Determinou-se com recurso às plantas, o número de colectores possíveis de instalar. Existe espaço para 60 do tipo selectivo e 64 do tipo tubo de vácuo. O número de colectores por bateria é 5 no caso do tipo plano selectivo e 4 para o tipo tubo de vácuo. Uma vez mais, o factor de limitação foi a largura do edifício.



**Figura 3.6** – Vista de planta da cobertura do Ed.IX, com o campo solar de colectores planos selectivos (a) e colectores tubo de vácuo (b).

### 3.2.4 Edifício X

O edifício X possui metade da sua cobertura completamente livre, à semelhança do edifício VII, sendo a outra metade ocupada pelo sistema de climatização, como é possível constatar na figura 2.5. A metade disponível corresponde à ala Oeste. Determinou-se que, para o espaço disponível, é possível acomodar 80 colectores, seja do tipo plano selectivo, seja do tipo tubo de vácuo. O número de colectores por bateria são de 5 no caso do tipo plano selectivo e 4 para o tipo tubo de vácuo. Uma vez mais, o factor de limitação foi a largura do edifício. A casa das máquinas encontra-se localizada na cave.



**Figura 3.7** – Vista de planta da cobertura do Ed.X, com o campo solar de colectores planos selectivos (a) e colectores tubo de vácuo (b).

### 3.3 Chiller de absorção

Um dos objectivos do presente trabalho é estudar a utilização do calor dos campos solares no período de arrefecimento, através da utilização de um chiller de absorção. Este utiliza um ciclo absorção em vez do ciclo de compressão. Ao contrário do ciclo de compressão o “motor” do ciclo absorção é o calor, razão pela qual é possível produzir água arrefecida a partir de água quente, possibilitando assim o uso dos campos solares para a produzir frio.

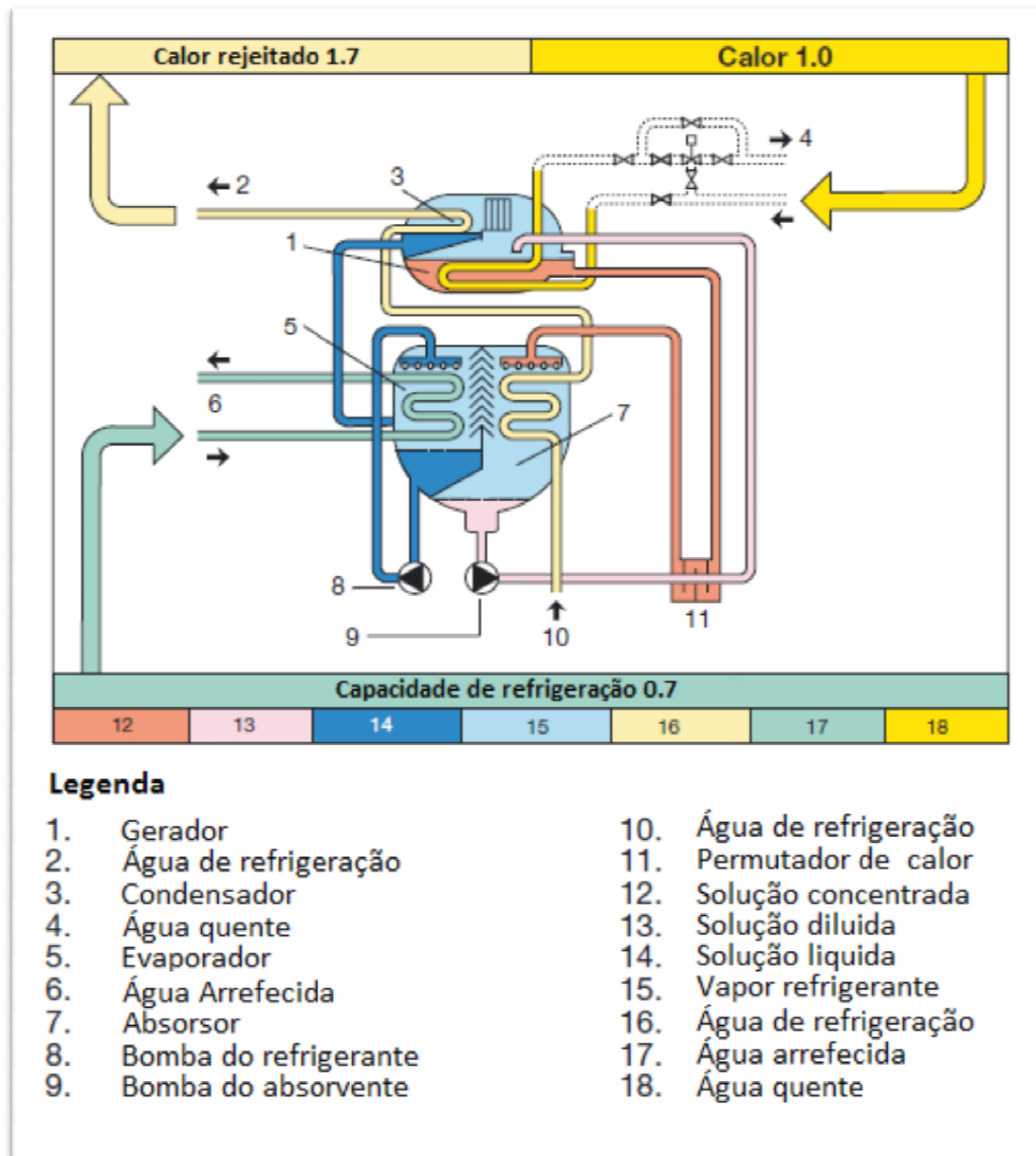
O chiller usado neste trabalho foi da marca Carrier, modelo 16LJ – 12,13 e 14.[51] O modelo 12 é o previsto para o edifício X, o 13 para os edifícios VIII e IX e por ultimo o modelo 14 para o edifício VII. A escolha dos modelos é feita utilizando a potência de arrefecimento necessária para cada edifício. Para o edifício VII esta foi obtida a partir da sua ficha técnica; para o edifício X a partir dos dados da tese em execução anteriormente referida, e para os restantes dois edifícios através da ponderação em relação ao edifício X, utilizando os valores dos IEE, à semelhança do realizado para a obtenção das cargas térmicas no capítulo 2.

**Tabela 3.2** – Valores das potências de arrefecimento para os quatro edifícios.

Edifício	VII	VIII	IX	X
Potência [kW]	448	345	345	314

De seguida apresenta-se uma breve explicação do funcionamento de um chiller de absorção utilizando o esquema da figura 3.8.

No funcionamento do chiller existem 7 fluidos, sendo estes: o brometo de lítio concentrado (12), brometo de lítio diluído (13), água (14), vapor de água (15), água de refrigeração (16), água arrefecida (17) e água quente (18). O ciclo inicia-se no ponto 1, onde o brometo de lítio diluído (13) é aquecido libertando o vapor de água, transformando-o em brometo de lítio concentrado (12). O vapor de água (15) libertado é condensado no ponto 3 pelo arrefecimento causado pela água de refrigeração (16). A água (14) proveniente da condensação é canalizada para o ponto 5 onde irá vaporizar, devido a baixa pressão existente nessa câmara, retirando calor a água arrefecida (17). Por último, o vapor de água (15) é novamente absorvido pelo brometo de lítio concentrado (12) formando brometo de lítio diluído (13) que é novamente canalizado para o ponto 1, fechando assim o ciclo. O papel do brometo de lítio concentrado (12) é o de absorver o vapor de água de forma a manter a pressão constante na câmara de evaporação. A temperatura produzida pelo chiller é de 7°C com uma entrada de 12°C e, para tal, necessita de água quente a 95°C. É também necessário uma fonte de água de refrigeração com uma temperatura de 29°C, sendo esta colmatada pela instalação de uma torre de arrefecimento.



**Figura 3.8** – Esquema do chiller de absorção (adaptado de [50]).

### 3.4 Torre de arrefecimento

O chiller de absorção proposto neste trabalho tem necessidade de uma fonte de água de arrefecimento para o seu funcionamento. Para tal, é necessário instalar uma torre de arrefecimento de forma a manter a água de refrigeração na temperatura recomendada. A marca das torres a utilizar é RSD. O método de cálculo utilizado para a determinação dos modelos de cada torre a utilizar são os recomendados pelo fabricante da torre de arrefecimento e apresentados no catálogo da mesma [51].



Os modelos a escolher dependem das condições de humidade e temperatura assim como do caudal (tabela 3.3) e diferença de temperaturas a vencer (tabela 3.4). Os valores das condições climáticas foram obtidos da base de dados do programa SolTerm5 e os restantes valores do catálogo do fabricante do chiller. A temperatura de bolbo húmido foi adquirida, através de um diagrama psicométrico com base na humidade relativa e na temperatura máxima de bolbo seco para o mês de Agosto (mês mais quente e seco), e apresenta-se na tabela 3.4.

**Tabela 3.3** – Caudais da água de refrigeração para os 3 modelos do chiller a utilizar.

Modelo do chiller	12	13	14
Caudal [m <sup>3</sup> /s]	0,0204	0,025	0,0307
Caudal [gal/min]	323,3	396,3	486,6

**Tabela 3.4** – Temperatura de entrada e saída da torre assim como a temperatura de bolbo húmido do local.

Temperatura	°C	°F
Entrada na torre	38,4	101,1
Saída da torre	29,4	84,9
Bolbo húmido	23,0	73,4

De forma a determinar a potência corrigida, em função da temperatura de bolbo húmido, necessária para satisfazer cada chiller é necessário determinar um factor de correcção. Este factor tem como objectivo corrigir a potência da torre em função das condições de humidade do local. Este depende da diferença de temperatura que a torre tem de vencer (eq.3.1) e da diferença de temperatura entre a água à saída da torre e a temperatura de bolbo húmido (eq.3.2), os valores das temperaturas são os apresentados na tabela 3.4. Os valores das diferenças de temperaturas são apresentados na tabela 3.5. Aplicando os valores das diferenças de temperaturas calculadas obtêm-se, com recurso a tabela 3.6, o factor de correcção. Uma vez que os edifícios em estudo se encontram no mesmo local, este factor é igual para o cálculo das 4 torres necessárias.

$$\Delta T = T_{\text{ent.torre}} - T_{\text{saída torre}} \quad (3.1)$$

$$\Delta T_{\text{aprox.}} = T_{\text{saída torre}} - T_{\text{B.H}} \quad (3.2)$$

**Tabela 3.5** – Diferenças de temperaturas usadas na selecção do factor de correcção da potência.

$\Delta T$ [°F]	$\Delta T_{aprox.}$ [°F]	$\Delta T$ [°C]	$\Delta T_{aprox.}$ [°C]
16,2	11,5	9,0	6,4

**Tabela 3.6** – Tabela de selecção do factor de correcção da potência da torre de arrefecimento (adaptado de [51]).

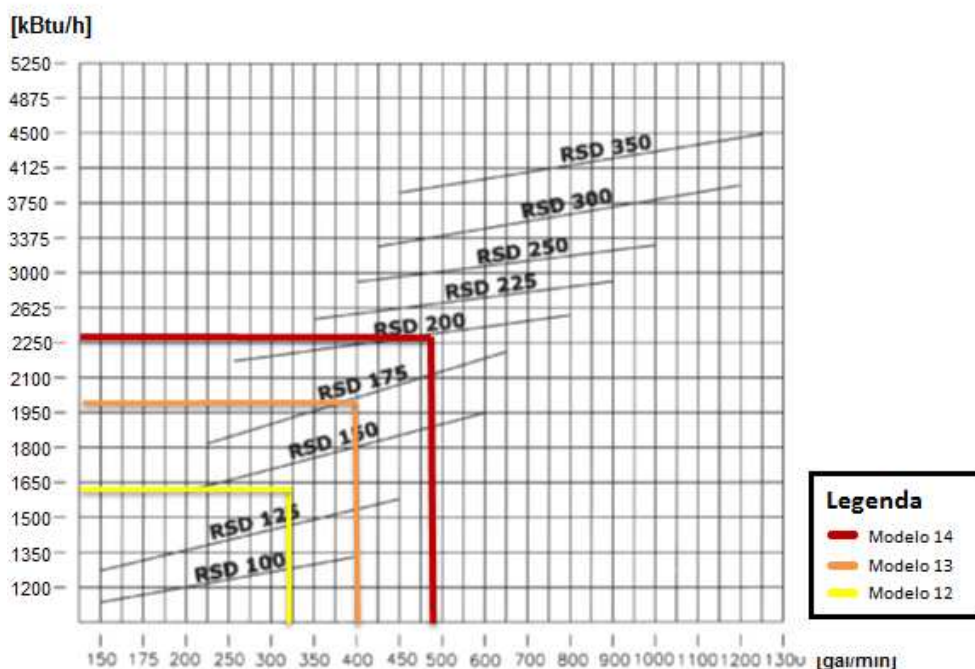
73 °F Temperatura de bolbo húmido								
$\Delta T$ [°F] $\Delta T_{aprox.}$ [°F]	8	10	12	14	16	18	20	22
6	1.47	1.31	1.17	1.06	0.98	0.91	0.84	0.80
8	1.18	1.06	0.95	0.88	0.82	0.76	0.72	0.67
10	0.98	0.90	0.82	0.76	0.71	0.67	0.63	0.59
12	0.84	0.77	0.72	0.66	0.62	0.57	0.55	0.52
14	0.73	0.68	0.63	0.59	0.55	0.52	0.49	0.46
16	0.65	0.61	0.57	0.53	0.50	0.46	0.44	0.41
18	0.60	0.56	0.53	0.49	0.46	0.43	0.41	0.38
20	0.55	0.52	0.48	0.46	0.43	0.40	0.38	0.37

Utilizando o factor de correcção (FC) é possível calcular a potência corrigida de cada torre (eq.3.4), no entanto, é necessário calcular primeiro a potência da torre antes da correcção (eq. 3.3). Onde P é o valor da potência antes da correcção,  $\dot{Q}$  o caudal de água em gal/min (tabela 3.3),  $\Delta T$  a diferença de temperatura calculada anteriormente (eq.3.1) em °F (tabela 3.5) e o valor de 500 um factor de conversão de unidades, de forma a obter o resultado em Btu/h. É ainda calculada a potência corrigida em kW (eq.3.5), onde o valor 3414 é um factor de conversão de unidades. Uma vez determinada a potência corrigida e utilizando o valor do caudal ( $\dot{Q}$ ) correspondente, obtém-se o modelo da torre através da figura 3.9. O modelo escolhido deve ser sempre o correspondente à primeira reta acima do ponto de intersecção obtido cruzando o valor da potência corrigida em Btu/h com o valor do caudal. Os valores das potências calculadas assim como dos modelos seleccionados são apresentados na tabela 3.7.

$$P = \dot{Q} \times (\Delta T \times 500) \quad (3.3)$$

$$P_{corrigida} = P \times FC \quad (3.4)$$

$$P_{corrigida0} [kW] = \frac{P_{corrigida} [Btu/h]}{3414} \quad (3.5)$$



**Figura 3.9** – Gráfico de selecção do modelo da torre de arrefecimento (adaptado de [51]).

**Tabela 3.7** – Potência inicial, potência corrigida e modelo das torres de arrefecimento para os 3 modelos de chillers.

Modelo	12	13	14
Potência [BTU/h]	2618730	3210030	3941460
Potência [kW]	767	940	1155
Pot.corrigida [BTU/h]	1623613	1990219	2443705
Pot.corrigida [kW]	475	583	716
Modelo da torre	150	175	200

### 3.5 Sistema de apoio

Como em qualquer sistema que utilize o Sol como fonte de energia, existe a necessidade de um apoio, isto é, uma fonte de energia que satisfaça as necessidades energéticas quando não existe energia solar suficiente. Nos casos em estudo, o apoio é o mesmo para todos os edifícios: caldeiras a gás propano. A razão da escolha é a já existência dessas caldeiras, uma vez que são estas que actualmente garantem as necessidades de aquecimento dos edifícios em estudo, o que não impede a sua substituição por modelos mais rentáveis.

### 3.6 Tubagem e depósitos de armazenamento

A tubagem a utilizar no circuito principal, ligação entre os depósitos de inercia e os colectores, é de cobre com diâmetros nominais entre os 45 mm e os 54 mm. Somente o campo solar do edifício VII utiliza diâmetros de 54 mm. Os restantes 3 edifícios utilizam diâmetros de 45 mm. A escolha dos diâmetros teve em atenção a velocidade de circulação na tubagem, de forma a não exceder 1 m/s, e o caudal no circuito principal. O caudal escolhido foi de 30 l/h por m<sup>2</sup> de colector, para os dois tipos de colectores, sendo este valor o recomendado pelo fabricante. Os comprimentos das tubagens de cada edifício são os apresentados na tabela 3.5.

**Tabela 3.8** – Comprimento da tubagem para os 4 campos solares.

Edifício	VII	VIII	IX	X
Comprimento da tubagem [m]	324	319	143	245

A escolha do isolamento teve em consideração o diâmetro das tubagens, a temperatura máxima de funcionamento (110 °C) e a condutividade térmica (0.033 W/(m.K)). O isolamento das tubagens será realizado por isolamento da marca armcell de 38 mm de espessura, modelo AF-06-048 e AF-06-054, para a tubagem de diâmetro 45 mm e 54 mm, respectivamente.

Os depósitos a utilizar serão de marca Wolf, modelo SEM-1 de 1000 litros. O cálculo do número de depósitos, de forma a maximizar a F.S, será apresentado no capítulo 5 [49].

A percentagem de glicol proposta é 15%, o que corresponde a uma protecção anti congelamento até os -5.7°C, um pouco abaixo da menor temperatura em registo para o concelho de Setúbal que foi de -5.3°C em Fevereiro de 1956. Garante também protecção contra a mínima registada em Lisboa de -1.2°C em Fevereiro do mesmo ano, uma vez que Almada encontra-se mais perto de Lisboa do que de Setúbal [52,53].

## **4 Parâmetros de simulação**

### **4.1 Programa utilizado nas simulações.**

Como mencionado anteriormente, o programa utilizado foi o SolTerm5, programa desenvolvido pelo LNEG. Este é um programa de análise de desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, especialmente ajustado às condições climáticas e técnicas de Portugal. [16]

O programa corre simulações sob condições quasi-estacionárias, isto é, são simulados os balanços energéticos no sistema em intervalos de 5 minutos, durante os quais se considera constante o estado do ambiente e o do sistema [54].

O programa, na sua versão de simulação de sistemas solares térmicos, encontra-se dividido em 5 secções, sendo estas: clima e local, sistemas térmicos, análise energética, análise económica e benefícios ambientais.

#### **4.1.1 Clima e local**

Nesta primeira secção do programa, é possível seleccionar o concelho no qual se localiza o projecto, de entre os 308 concelhos do país, incluído as ilhas da Madeira e Açores (figura 4.1a). Com a selecção do concelho são seleccionados os dados climáticos e de radiação e é ainda possível fazer alterações locais. Estas alterações correspondem ao sombreamento, utilizado para simular obstáculos no horizonte (montanhas ou montes) ou obstáculos mais perto (edifícios), a turbidez da atmosfera, que traduz a carga de aerossóis e poeiras que afetam a radiação e ao albedo do solo, que representa a refletividade do mesmo (figura 4.1b). No âmbito deste trabalho consideraram-se os valores típicos (figura 4.1b). Uma vez que o albedo só é significativo em termos práticos para colectores ou módulos colocados na vertical e/ou em situações com neve de Inverno; ou então muito perto de um grande espelho de água, como uma albufeira e a turbidez da atmosfera só se torna significativa para situações extremas (elevada altitude, zonas muito poluídas) [54].

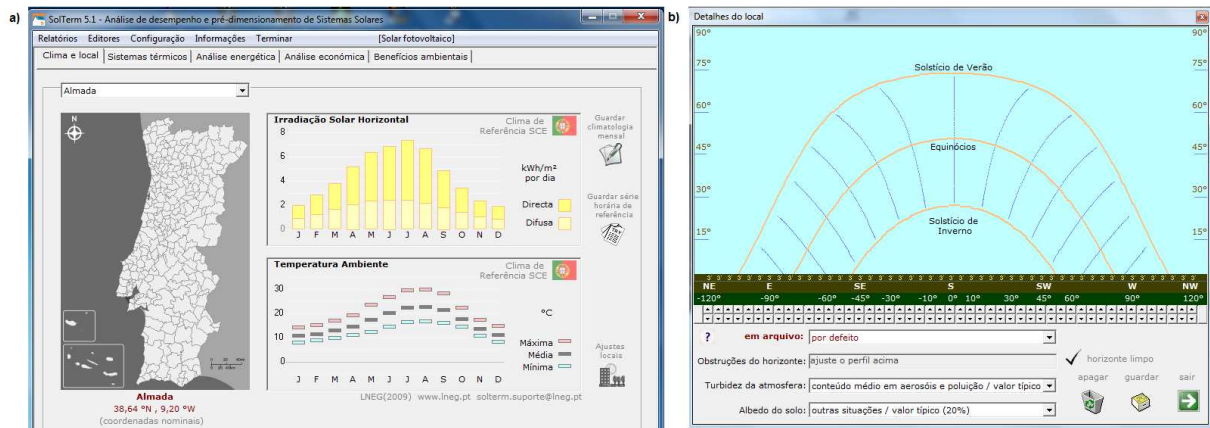


Figura 4.1 – Secção clima e local (a) e Ajustes locais (b).

#### 4.1.2 Sistemas térmicos

Esta segunda secção do programa diz respeito à selecção do tipo de sistema a utilizar, de entre as 4 possibilidades: *sistema sem depósito*, no qual a troca de calor entre o circuito primário (circuito de ligação aos colectores) e o circuito secundário é realizada por meio de um permutador, não existindo assim armazenamento; *sistema com depósito*, no qual a ligação entre os dois circuitos é feita por intermédio de um depósito de inércia; *sistema kit doméstico* do tipo termossifão que funciona sem auxílio de bomba de circulação no circuito primário; por último o *sistema multi*, que possui depósito de inércia e permutador, sendo a utilização de cada dependente das cargas estipuladas (figura 4.2). Nos projectos em estudo foi utilizado o sistema com depósito.

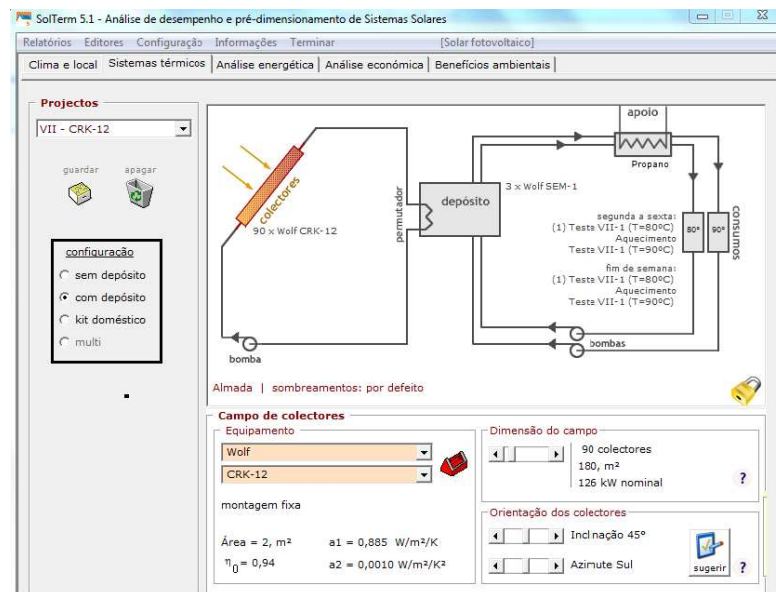


Figura 4.2 – Secção sistemas térmicos e características dos colectores.

Após a selecção do sistema a utilizar, resta definir as características dos componentes do sistema, nomeadamente:

- Colector: tipo, número e a sua orientação (figura 4.2);
- Circuito primário: comprimento, condutividade do tubo e do isolamento e respectiva espessura (figura 4.3a);
- Fluido circulante no primário: caudal e percentagem de glicol da mistura (figura 4.3b);
- Depósitos: capacidade de armazenamento, perdas térmicas e eficiência da transferência de calor (figura 4.3c);
- Sistema de apoio: tipo utilizado e respectivas características (figura 4.3d);
- Consumos: escolha dos consumos a utilizar (figura 4.4a) e introdução dos valores (figura 4.4b)

Figure 4.3 consists of four sub-panels (a, b, c, d) showing the configuration interface for a simulation system.

**a) Tubagens (circuito primário)**: This panel allows configuration of the primary circuit piping. It includes fields for 'comprimentos' (lengths) with a 'total' of 324,0 m, 'condutividade térmica' (thermal conductivity) of 380 W/m/K, 'espessura' (thickness) of 1,5 mm, and 'diâmetro nominal' (nominal diameter) of 54,0 mm. It also shows 'Velocidade de projecto' (design velocity) of 0,6 m/s and 'Perdas térmicas (valor nominal): 65,3 W/K'. A checkbox 'existe protecção mecânica no percurso exterior' is checked.

**b) Fluido circulante no primário**: This panel configures the primary fluid. It shows 'Circulação' (circulation) with a 'caudal específico' (specific flow rate) of 30,0 l/h/m² and 'caudal na bomba' (pump flow rate) of 0,07 m³/h. It also shows 'Anticongelante' (antifreeze) with a 'fracção na mistura' (mixture fraction) of 15%.

**c) Depósitos / Permutadores**: This panel configures the storage tanks and heat exchangers. It shows '3 conjuntos depósito/permutador' (3 tank/heat exchanger sets) with a 'Volume = 3000 l', 'Área externa = 24,72 m²', and 'Perdas térmicas = 32,1 W/K'. It also shows 'Permutador interno, tipo serpentina' (internal heat exchanger, serpentine type) with 'Eficácia do permutador 55%' (heat exchanger efficiency 55%) and 'Depósito abrigado. Posição vertical.' (sheltered tank. vertical position).

**d) Sistema de apoio**: This panel configures the support system. It shows 'Electricidade (da rede)' (electricity (from the grid)) and 'Gás propano' (propane gas). It also shows 'Rendimento global do sistema (relativamente ao PCI): 90 %' (overall system efficiency (relative to PCI): 90 %) and 'PCI (Poder Calorífico Inferior): 47,0 MJ/kg'.

**Figura 4.3** –Características do circuito primário (a), fluido circulante no primário (b), depósitos/permutadores (c), sistema de apoio (d).

Figure 4.4 consists of two sub-panels (a, b) showing the configuration interface for consumption data.

**a) Características do consumo**: This panel shows the 'Características do consumo' (consumption characteristics). It includes a table with columns for 'Segunda a Sexta' (Monday to Friday) and 'Sábado e Domingo' (Saturday and Sunday). The table shows consumption data for 'Teste VII-1 (T=80°C) Aquecimento' (Test VII-1 (T=80°C) Heating) and 'Teste VII-1 (T=90°C) Arrefecimento' (Test VII-1 (T=90°C) Cooling). A checkbox 'existem válvulas misturadoras' (there are mixing valves) is checked, and a note '(1) a primeira carga é prioritária' (the first load is prioritized) is shown.

**b) Editor de consumos de águas quentes**: This panel shows the 'Editor de consumos de águas quentes' (hot water consumption editor). It includes a table with columns for 'Energia' (Energy) and 'Volume' (Volume). The table shows consumption data for 'Teste VII-1 (T=80°C) Aquecimento' (Test VII-1 (T=80°C) Heating) and 'Teste VII-1 (T=90°C) Arrefecimento' (Test VII-1 (T=90°C) Cooling). It also shows 'Temperaturas da água (°C)' (water temperatures in °C) and 'origem do abastecimento' (source of supply). The 'origem do abastecimento' section shows 'reciclagem de água consumida' (recycling of consumed water) and 'água da rede' (municipal water supply).

**Figura 4.4** –Consumos a utilizar (a) e introdução dos mesmos (b).



### 4.1.3 Análise energética

Esta secção apresenta os resultados obtidos da simulação realizada, tendo em conta a informação inserida na secção anterior (figura 4.5). Os valores calculados são: energia solar disponível que não se aproveitou (Desperdiçado), fornecida pelo sistema (Fornecido), energia de apoio (Apoio), fracção solar (contribuição da energia fornecida pelo sistema para satisfazer a carga, em percentagem), produtividade (energia produzida por  $m^2$  de colector) e o rendimento global do sistema.



Figura 4.5 – Secção análise energética.

### 4.1.4 Análise económica

Nesta secção é possível verificar a viabilidade do projecto em termos financeiros (figura 4.6). Para tal é necessário inserir o custo total do sistema, na forma de uma componente fixa ou variável (por  $m^2$ ), o valor de incentivos, caso estes existam, a vida útil do projecto em anos, os custos de manutenção anual, renovação de componentes e valor residual, todos estes em forma de percentagem do preço do sistema. É também necessário o valor do preço do combustível de apoio (€/kg) assim como o valor da inflação, da deriva do preço de energia substituída e do rendimento de aplicação financeira segura. Resta por último estipular se o investimento é realizado por intermédio de um empréstimo ou se existe capital para investir. Após a inserção dos parâmetros o programa apresenta tempo de retorno do investimento.



**SolTerm 5.1 - Análise de desempenho e pré-dimensionamento de Sistemas Solares**

Relatórios Editores Configuração Informações Terminar [Solar fotovoltaico]

Clima e local | Sistemas térmicos | Análise energética | Análise económica | Benefícios ambientais

**Dados técnico-económicos do sistema**

Área do painel 191,0 m<sup>2</sup>

Preço do sistema solar: **95520 €**

Componente fixa 0 €

Componente variável 500 €/m<sup>2</sup>

Incentivos: 0 €

Componente fixa 0 €

Componente variável 0 €/m<sup>2</sup>

Vida útil 20 anos

Manutenção anual 0,1% do preço do sistema

Renovação de componentes 1,0% do preço do sistema

Valor residual 0,0% do preço do sistema

**Valorização da energia**

Preço actual do combustível 1,870 €/kg (0,044 €/MJ)

Custo da energia solar produzida 0,065 €/kWh (0,018 €/MJ)

**Cenário financeiro sobre 20 anos**

Inflação 1,5% ao ano

Deriva do preço da energia substituída 2,0% acima da inflação

Rendimento de aplicação financeira segura 2,5% ao ano

**Analisar interesse quando...**

☒ há capital disponível para investir

☐ é necessário um empréstimo bancário

**Sistema solar**

Compra do sistema: -95520 €

Manutenção: -2242 €

Reparações: -1125 €

Custos de energia (apoio): -664716 €  
(Custos de energia evitados: 255435 €)

De reinvestimentos: 60893 €

Valor residual: 0 €

**Balanço**

no fim do período: -763603 €  
(a preços actuais: -566953 €)

**Alternativa**

Aplicação de capital: -95520 €

Custos de energia: -920151 €

Rendimentos: 61001 €

Restituição do capital: 95520 €

**Balanço**

no fim do período: -859150 €  
(a preços actuais: -637894 €)

**Vantagem: 95547 €** (70941 € a preços actuais)

Instalação de sistema solar compensadora (nestas condições).

Recuperação do capital ao 15º ano

Optimização económica

**Figura 4.6 – Secção análise económica.**

### 4.1.5 Benefícios ambientais

A última secção do programa é também a mais simples. Não é necessário a inserção de nenhum parâmetro, uma vez que os valores utilizados são resultados ou inserções das secções anteriores. As informações apresentadas nesta secção são o consumo de energia fóssil evitado e as correspondentes emissões de carbono evitadas.

### 4.2 Valores das cargas

Os valores das cargas que é necessário introduzir no programa correspondem às cargas térmicas determinadas no capítulo 2 ponto 5. No entanto, é necessário transformar esses valores anuais em valores por mês, por dia e ainda por hora, uma vez que é neste formato que o SolTerm aceita a inserção dos valores de consumo.

#### 4.2.1 Cargas mensais e diárias

Existem dois períodos de climatização durante o ano: estação de aquecimento e a estação de arrefecimento. A estação de aquecimento, segundo o decreto-lei 80 de 2006, tem uma duração de 5,3 meses. A de arrefecimento de 4 meses, Junho, Julho, Agosto e Setembro. Esta abordagem origina meses sem climatização, nomeadamente Abril e Maio, mesmo considerando 6 meses de aquecimento. Optou-se então por estender o aquecimento até Abril e o arrefecimento a partir de Maio.

Uma forma de distribuir as cargas seria a de as dividir uniformemente pelo número de meses de cada estação, no entanto o erro associado a esta divisão seria demasiado elevado, uma vez que as condições climáticas são mais agrestes nos meses de Inverno (estação de aquecimento) ou de Verão (estação de arrefecimento) o que implica maiores necessidades de energia para a climatização.

##### a). Estação de aquecimento

A forma de melhor aproximar a divisão das cargas pelos meses da estação, com a real necessidade de cada mês, foi a de considerar a diferença de temperatura entre a média exterior e a temperatura de conforto na estação.

Utilizando os valores das temperaturas médias para os meses da estação de aquecimento disponibilizados no SolTerm e uma temperatura de conforto de 20°C, valor imposto pelo RCCTE, é possível obter a diferença de temperaturas correspondente a cada mês. (eq.4.1) Calculando o somatório dessas diferenças de temperatura e dividindo cada uma por esse somatório obtém-se um valor que representa a contribuição de cada mês para a carga total da estação. (eq.4.2) Utilizando este valor obtido é possível determinar um valor de carga para cada um dos meses (eq.4.3) e dividindo pelo número de dias de cada mês obtém-se o valor diário (eq.4.4), assumindo que, de uma forma média os dias de cada mês são iguais.

$$\Delta T_{\text{mês}} = T_{\text{interior}} - T_{\text{exterior}} \quad (4.1)$$

$$CCT_{\text{mês}} = \frac{\Delta T_{\text{mês}}}{\sum \Delta T_{\text{mês}}} \quad (4.2)$$

$$C_m = C_{\text{aquecimento}} \times CCT_{\text{mês}} \quad (4.3)$$

$$C_d = \frac{C_m}{N_{\text{dias/mês}}} \quad (4.4)$$

**Tabela 4.1** – Valores mensais e diários das cargas do edifício VIII para a estação de aquecimento.

Mês	$T_{\text{interior}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{exterior média}} [^{\circ}\text{C}]$	$\Delta T [^{\circ}\text{C}]$	$CTT_{\text{mês}}$	$C_m [\text{kWh}]$	$C_d [\text{kWh}]$
Janeiro	20	10,7	9,3	0,19	27384,4	883,4
Fevereiro	20	11,5	8,5	0,18	25028,7	893,9
Março	20	12,8	7,2	0,15	21200,8	683,9
Abril	20	14,5	5,5	0,11	16195,1	539,8
Outubro	20	17,7	2,3	0,05	6772,5	218,5
Novembro	20	13,6	6,4	0,13	18845,2	628,2
Dezembro	20	11,0	9,0	0,19	26501,0	854,9
		Total:	48,2	1	141928	

Como era previsto, os meses de maior necessidade energética são os meses com maior diferença de temperatura, Janeiro e Dezembro. É de salientar que esta divisão, somente considerando as temperaturas, é aceitável, uma vez que as características construtivas e a orientação são iguais para todo o ano. Existe, no entanto, o erro associado à contribuição da radiação incidente nos edifícios. As tabelas correspondentes aos restantes 3 edifícios encontram-se no anexo B: tabelas B.1, B.3 e B.5.

#### **b). Estação de arrefecimento**

Na estação de arrefecimento não foi possível utilizar o mesmo método que na estação anterior, isto devido às temperaturas médias dos meses em questão serem inferiores a temperatura de conforto de  $25^{\circ}\text{C}$ , temperatura imposta pelo RCCTE, o que origina cargas mensais maiores nos meses mais frios do que nos meses mais quentes. A solução encontrada foi a de determinar o desvio percentual da carga média mensal. (eq.4.6). Para tal é necessário assumir que a diferença de temperaturas era igual para todos os meses, o que resulta numa carga mensal igual em todos os meses. Utilizando o valor médio da diferença de temperaturas como base (eq.4.5) e determinando o desvio que cada diferença de temperatura de cada mês tem em relação a esse valor médio determina-se o desvio percentual da carga média mensal (eq.4.6). Utilizando este desvio e a carga média (eq.4.7), determina-se o valor das cargas para os meses da estação de arrefecimento (eq.4.8) e por último a carga por dia (eq.4.4).

$$\Delta T_{\text{médio}} = \frac{\sum \Delta T_{\text{mês}}}{n^{\circ} \Delta T} \quad (4.5)$$

$$D_m = \frac{\Delta T_{\text{médio}} - \Delta T_{\text{mês}}}{\Delta T_{\text{médio}}} \times 100 \quad (4.6)$$

$$C_{\text{média}} = \frac{C_{\text{arrefecimento}}}{5} \quad (4.7)$$

$$C_m = C_{\text{média}} \times D_m \quad (4.8)$$

**Tabela 4.2** – Valores mensais e diários das cargas do edifício VIII para a estação de arrefecimento.

Mês	T <sub>interior</sub> [°C]	T <sub>média exterior</sub> [°C]	ΔT [°C]	D <sub>m</sub> [%]	C <sub>m</sub> [kWh]	C <sub>d</sub> [kWh]
Maio	25	17,3	7,7	-77,4	875,5	28,2
Junho	25	20,0	5,0	-15,2	3287,6	109,6
Julho	25	22,3	2,7	37,8	5342,4	172,3
Agosto	25	22,5	2,5	42,4	5521,1	178,1
Setembro	25	21,2	3,8	12,4	4359,7	145,3
ΔT <sub>médio</sub> :			4,3	Carga média:	3877,3	

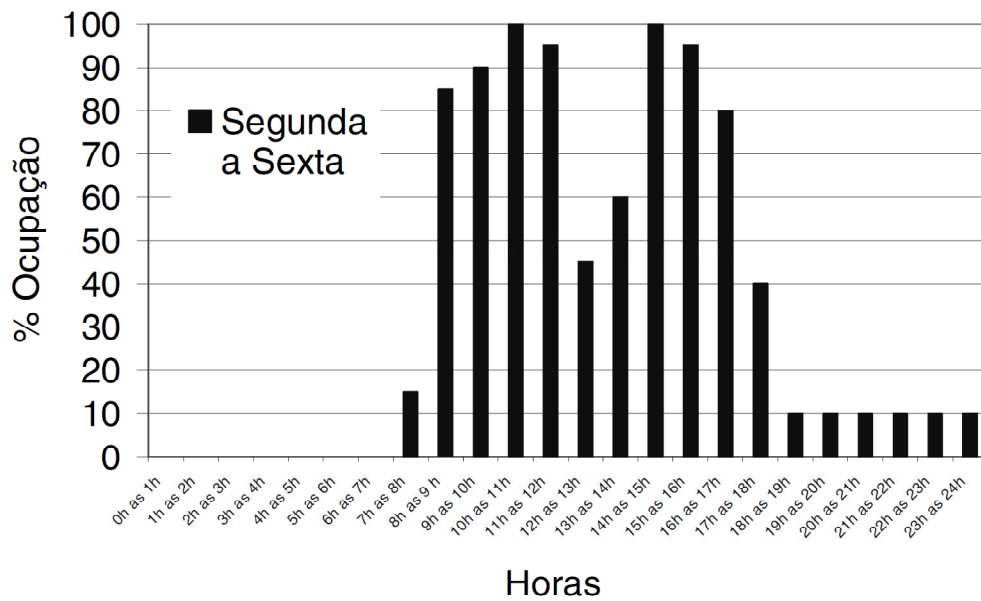
Os valores obtidos são concordantes com a lógica das cargas maiores nos meses mais quentes.

Como mencionado na alínea anterior este método é aceitável, uma vez que as características construtivas e a orientação são iguais para todo o ano. No entanto, existe o erro associado à contribuição da radiação incidente nos edifícios.

As tabelas correspondentes aos restantes 3 edifícios encontram-se no anexo B: tabelas B.2, B.4 e B.6.

#### 4.2.2 Cargas horárias

A adaptação das cargas diárias em cargas horárias foi realizada tendo em conta a ocupação e a tipologia dos edifícios, segundo o estipulado no decreto-lei 79 de 2006. A tipologia utilizada foi a correspondente a um estabelecimento de ensino superior. Segundo esta tipologia a percentagem de ocupação inicia-se às 7 horas e finaliza-se pelas 24 horas. Mas a maior percentagem de ocupação ocorre entre as 7 horas e as 19 horas, período que corresponde ao dia, uma razão pela qual foi considerado, somente este período, na distribuição das cargas diárias por hora. A outra razão foi a de maximizar o aproveitamento do sol.



**Figura 4.1** – Gráfico da ocupação por hora para um estabelecimento de ensino superior [23].

Utilizando o valor da percentagem de ocupação por hora e o somatório dessas percentagens, obteve-se um valor que representa a contribuição de cada hora para a carga diária. Quando maior a ocupação maior será a carga (eq.4.11). Por último, multiplica-se a percentagem de cada hora pela carga diária e obtém-se a cargas por hora (eq.4.12).

$$CCD_{hora} = \frac{O_{hora}}{\sum O_{hora}} \quad (4.11)$$

$$C_h = C_d \times CCD_{hora} \quad (4.12)$$

Dos cálculos anteriores resultam os resultados apresentados na tabela 4.3, correspondente à estação de aquecimento, e tabela 4.4 correspondente à estação de arrefecimento.

**Tabela 4.3** – Valores da carga por hora do edifício VIII para a estação de aquecimento.

Horas	O <sub>hora</sub> [%]	CCD <sub>hora</sub>	C <sub>h</sub> (Janeiro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Fevereiro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Março) [kWh]	C <sub>h</sub> (Abril) [kWh]	C <sub>h</sub> (Outubro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Novembro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Dezembro) [kWh]
7h às 8h	5	0,01	5,4	5,4	4,1	3,3	1,3	3,8	5,2
8h às 9h	80	0,10	85,7	86,7	66,3	52,3	21,2	60,9	82,9
9h às 10h	85	0,10	91,0	92,1	70,5	55,6	22,5	64,7	88,1
10h às 11h	100	0,12	107,1	108,3	82,9	65,4	26,5	76,1	103,6
11h às 12h	95	0,12	101,7	102,9	78,8	62,2	25,2	72,3	98,4
12h às 13h	45	0,05	48,2	48,8	37,3	29,4	11,9	34,3	46,6
13h às 14h	70	0,08	75,0	75,8	58,0	45,8	18,5	53,3	72,5
14h às 15h	95	0,12	101,7	102,9	78,8	62,2	25,2	72,3	98,4
15h às 16h	100	0,12	107,1	108,3	82,9	65,4	26,5	76,1	103,6
16h às 17h	90	0,11	96,4	97,5	74,6	58,9	23,8	68,5	93,3
17h às 18h	50	0,06	53,5	54,2	41,4	32,7	13,2	38,1	51,8
18h às 19h	10	0,01	10,7	10,8	8,3	6,5	2,6	7,6	10,4
Total	825	1,00	883,4	893,9	683,9	539,8	218,5	628,2	854,9

**Tabela 4.4** – Valores da carga por hora do edifício VIII para a estação de arrefecimento.

Horas	O <sub>hora</sub> [%]	CCD <sub>hora</sub>	C <sub>h</sub> (Maio) [kWh]	C <sub>h</sub> (Junho) [kWh]	C <sub>h</sub> (julho) [kWh]	C <sub>h</sub> (Agosto) [kWh]	C <sub>h</sub> (Setembro) [kWh]
7h às 8h	5	0,01	0,2	0,7	1,0	1,1	0,9
8h às 9h	80	0,10	2,7	10,6	16,7	17,3	14,1
9h às 10h	85	0,10	2,9	11,3	17,8	18,3	15,0
10h às 11h	100	0,12	3,4	13,3	20,9	21,6	17,6
11h às 12h	95	0,12	3,3	12,6	19,8	20,5	16,7
12h às 13h	45	0,05	1,5	6,0	9,4	9,7	7,9
13h às 14h	70	0,08	2,4	9,3	14,6	15,1	12,3
14h às 15h	95	0,12	3,3	12,6	19,8	20,5	16,7
15h às 16h	100	0,12	3,4	13,3	20,9	21,6	17,6
16h às 17h	90	0,11	3,1	12,0	18,8	19,4	15,9
17h às 18h	50	0,06	1,7	6,6	10,4	10,8	8,8
18h às 19h	10	0,01	0,3	1,3	2,1	2,2	1,8
Total	825	1,00	28,2	109,6	172,3	178,1	145,3

As tabelas correspondentes aos restantes 3 edifícios encontram-se no anexo B: tabela B.7 a B.12.

### 4.3 Temperaturas simuladas

O valor das cargas calculado no ponto anterior tem de ser introduzido no SolTerm em conjunto com um valor de temperatura de ida e um valor da temperatura de retorno para o circuito primário, uma vez tratar-se de um sistema de recirculação de água.

#### 4.3.1 Estação de aquecimento

As temperaturas de ida escolhidas para as simulações no período de aquecimento foram de 80°C, 70°C e 60°C considerando a temperatura de retorno 10°C mais baixa.

A temperatura de 80°C foi simulada pois é a temperatura que actualmente é produzida pelas caldeiras instaladas nos edifícios.

A razão da simulação de várias temperaturas é o aumento da F.S com a diminuição da temperatura de ida. A análise da equação característica da curva de rendimento dos colectores demonstra o porque desse aumento (eq.4.13).

$$\eta = \eta_0 - \frac{U_{L1} \times \Delta T}{E} - \frac{U_{L2} \times \Delta T^2}{E} \quad (4.13)$$

O  $U_{L1}$  e o  $U_{L2}$  são o coeficiente global de perdas lineares ( $W/m^2K$ ) e o coeficiente global de perdas quadrático ( $W/m^2K$ ), respectivamente. O  $\eta_0$  é o rendimento do colector somente considerando as perdas ópticas. Onde  $E$  é a irradiação que atinge a superfície do vidro ( $W/m^2$ ). O  $\Delta T$  representa a diferença de temperatura entre o absorsor e o ar.

A temperatura simulada corresponde à temperatura do absorsor, logo, quando menor for, menor será o  $\Delta T$  e menores serão as perdas, traduzindo-se num aumento de F.S. A diminuição da temperatura permite também que os colectores funcionem durante períodos de tempo nos quais não funcionavam, pois as perdas não permitiam atingir a temperatura desejada.

Existe um limite inferior imposto pelo bom funcionamento dos sistemas de climatização que utiliza a água quente produzida nos campos solares, razão pela qual não foram simuladas temperaturas mais baixas do que 60°C.



#### **4.3.2 Estação de arrefecimento**

Na situação de arrefecimento a temperatura de ida é imposta pelo chiller de absorção, que necessita de uma temperatura de entrada de 95°C e funciona com uma diferença de temperatura de 15°C.

No entanto foi também simulada uma temperatura de 90°C, assumindo que os 5°C que faltam iriam ser subministrados pelo apoio. Uma vez que a energia absorvida aumenta com a diminuição da temperatura desejada, espera-se que esse aumento compense a energia do apoio e ainda aumente a F.S.

A mínima temperatura de ida é 90°C, de forma a manter uma diferença de temperaturas de 10°C.



## 5 Resultado das simulações e análise crítica

As simulações realizadas foram separadas por temperatura de ida, na estação de arrefecimento (95°C e 90°C).

Após a análise dos resultados concluiu-se que a melhor temperatura de ida, na estação de arrefecimento, é a de 90°C. A explicação é apresentada após os resultados individuais de cada edifício, uma vez estes serem necessários para a explicação. Os resultados apresentados dizem respeito somente às simulações com a temperatura de ida na estação de arrefecimento, de 90°C.

As simulações foram realizadas para os dois tipos de colectores em estudo, plano selectivo e tubo de vácuo. Para cada tipo de colector foram simulados vários volumes de armazenamento, entre os 1 e os 5 m<sup>3</sup> com intervalos de 1 m<sup>3</sup>, de forma a determinar o volume total correspondente à melhor fracção solar (F.S). Foram também simuladas as temperaturas de ida na estação de aquecimento, seleccionadas no capítulo 4, ponto 3 (80°C, 70°C e 60°C).

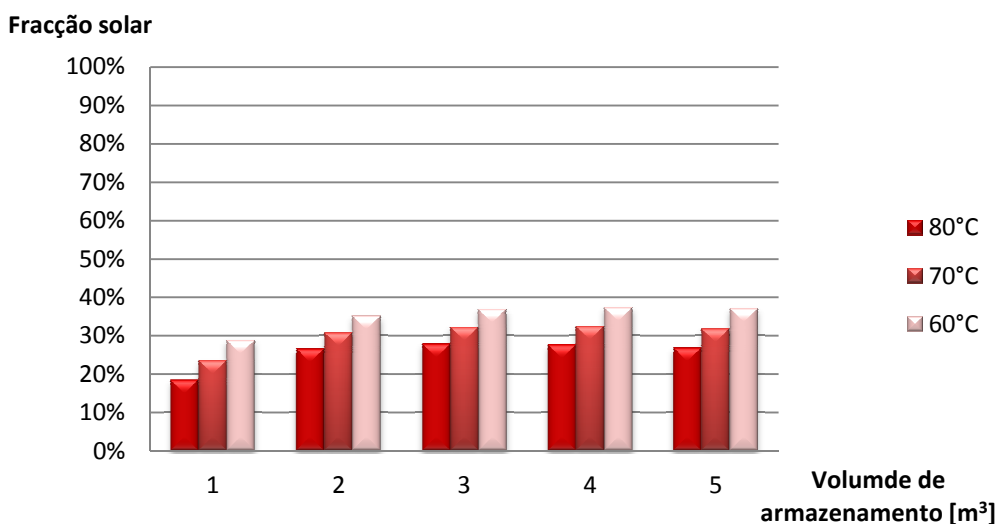
O comportamento dos sistemas, com a variação do volume de armazenamento e com a diminuição da temperatura de ida na estação de aquecimento, é semelhante para os 4 edifícios. Por esta razão apresentam-se os resultados do Ed.VII como exemplo. Os resultados dos restantes 3 edifícios encontram-se no anexo B (tabelas B.13 a B.18) e no anexo A (figuras A.1 a A.5).

### 5.1 Painel plano selectivo (F3 - 1)

#### 5.1.1 Edifício VII

Apresentam-se os resultados nas seguintes formas:

- Tabela de variação da fracção solar (V.F.S) por volume de armazenamento e temperatura de ida, na estação de aquecimento (tabela 5.1).
- Gráfico representativo da fracção solar (F.S) em função da temperatura e volume de armazenamento (figura 5.1).
- Gráficos representativos do comportamento da F.S ao longo dos meses (figura 5.2 e 5.3).



**Figura 5.1** – Gráfico representativo da evolução da F.S, em função da temperatura de ida e volume de armazenamento, para o colector F3 – 1 no Ed.VII.

**Tabela 5.1** – V.F.S por aumento de 1 m³ no volume de armazenamento, para o colector F3 – 1 no Ed.VII.

Temperatura [°C]	1 → 2 [m³]	2 → 3 [m³]	3 → 4 [m³]	4 → 5 [m³]
80	8,10%	1,30%	-0,20%	-0,80%
70	7,30%	1,40%	0,20%	-0,60%
60	6,30%	1,80%	0,40%	-0,30%

Os resultados obtidos demonstram que existe um aumento da F.S com a diminuição da temperatura de ida, independentemente do volume de armazenamento. Este aumento era esperado. A razão é a mesma que suportou a simulação de várias temperaturas de ida, explicada no capítulo 4, ponto 3.

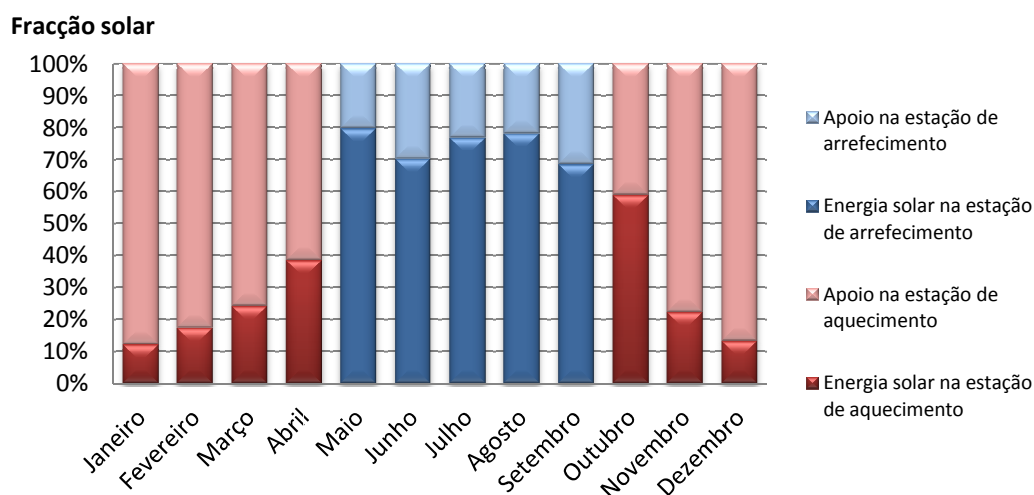
O aumento do volume de armazenamento causa um aumento de F.S. Isto deve-se, à maior capacidade de aproveitar a energia solar disponível, permitindo acumular energia em horas de menor carga e utilizá-la quando necessária. No entanto, é visível no gráfico da figura 5.1 e encontra-se detalhado na tabela 5.1, que após um determinado valor de volume de armazenamento existe uma diminuição da F.S. Para a temperatura de ida 80°C, este valor limite ocorre aos 3 m³ e para as restantes duas (70°C e 60°C) a partir dos 4 m³. A diminuição ocorre devido a impossibilidade por parte do sistema solar de colocar o volume de armazenamento à temperatura de ida desejada, maior quantidade de água mais energia necessária. Esta também é a razão pela qual a diminuição ocorre mais tarde (4 m³ envés dos 3 m³), para menores temperaturas de ida (70°C e 60°C).

A tabela 5.1 mostra ainda outro fenómeno. Como anteriormente mencionado, o aumento do volume de armazenamento causa aumento da F.S, mas esse aumento não é constante. Toma-se para exemplo os valores da V.F.S para a temperatura de ida de 80°C. No primeiro aumento de

volume ocorre um aumento da F.S de 8,1%, mas no segundo aumento de volume o aumento da F.S é somente de 1,3%. Como explicado anteriormente, mais volume de armazenamento permite aproveitar mais energia solar. No entanto, parte da energia que estava a ser desperdiçada pelo sistema com um volume de 1 m<sup>3</sup> é aproveitada quando se aumentou o volume para 2 m<sup>3</sup>, logo quando se aumenta uma vez mais o volume, para os 3 m<sup>3</sup>, a energia desperdiçada que resta, e que este volume extra permite aproveitar, é menor. Razão pela qual o valor do da V.F.S diminui com o aumento do volume.

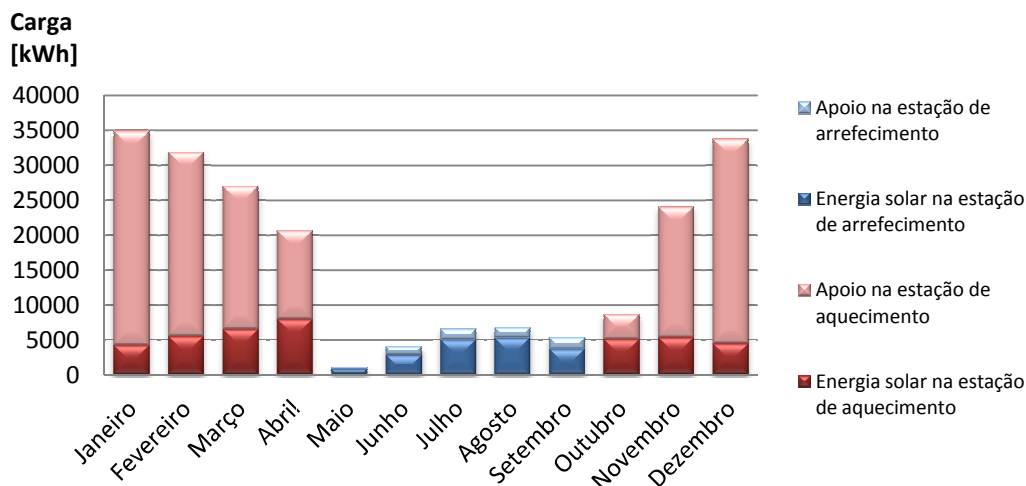
Considerando o aumento da F.S com o volume e a tabela 5.1 o melhor volume de armazenamento seria os 3 m<sup>3</sup> para os 80°C e os 4 m<sup>3</sup> para os 70°C e 60°C. No entanto, é necessário ter em conta que o aumento do volume acarreta um aumento do preço do sistema, uma vez ser necessário um depósito extra. Através da análise económica conclui-se que o melhor volume de armazenamento é de 3 m<sup>3</sup>, para as 3 temperaturas. Isto porque o incremento, da F.S causado pelo aumento do volume dos 3 m<sup>3</sup> para os 4 m<sup>3</sup>, não é suficiente para compensar o investimento de mais um depósito.

As figuras 5.2 e 5.3 apresentam o comportamento da F.S em cada mês, para a temperatura de ida de 80°C e volume de armazenamento seleccionado.



**Figura 5.2** – Gráfico representativo do balanço energético mensal em percentagem, para o colector F3 – 1 no Ed.VII e temperatura de ida de 80°C.

No gráfico da figura 5.2 encontra-se a carga mensal representada pela percentagem de energia fornecida pelo sistema solar (F.S) e pela percentagem de apoio. É visível a diferença da fracção solar entre estações de climatização. Este resultado era esperado, uma vez as condições climáticas para o aproveitamento da radiação solar serem melhores na estação de arrefecimento (Maio até Setembro). No entanto, existe uma segunda razão responsável pela diferença de F.S verificada na figura 5.2. O valor da carga mensal na estação de aquecimento é muito superior ao valor da carga mensal na estação de arrefecimento, como é explicitado no gráfico da figura 5.3.



**Figura 5.3** – Gráfico representativo do balanço energético mensal em energia, para o coletor F3 – 1 no Ed.VII e temperatura de ida de 80°C.

A figura 5.3 apresenta o balanço na forma de energia, o que torna visível a diferença em quantidade de energia a ser fornecida pelo sistema solar em cada estação. A segunda razão, mencionada anteriormente, torna-se mais clara com a análise desta figura, uma vez que, existindo menos energia a fornecer, é mais fácil para o sistema solar atingir F.S superiores. No entanto, existem meses na estação de aquecimento, por exemplo Abril, nos quais é produzida mais energia que em qualquer mês da estação de arrefecimento, no entanto, nunca se consegue atingir uma F.S de 100 % na estação de arrefecimento. Isto deve-se a duas razões: a primeira é que a carga nem sempre coincide com a energia solar disponível, logo, mesmo com o armazenamento, esta carga não consegue ser satisfeita pelo sistema solar impossibilitando uma F.S de 100%; a segunda é a temperatura de ida pedida na estação de arrefecimento. Como mencionado no início deste capítulo, essa temperatura é de 90°C e como explicado no subcapítulo 4.3, quando maior a temperatura de ida menor, a F.S.

O comportamento da F.S observado nas figuras 5.2 e 5.3, correspondentes à temperatura de ida de 80°C, é igual para as restantes temperaturas de ida (70°C e 60°C), pelo que os gráficos correspondentes encontram-se no anexo A figuras A.7 e A.8.

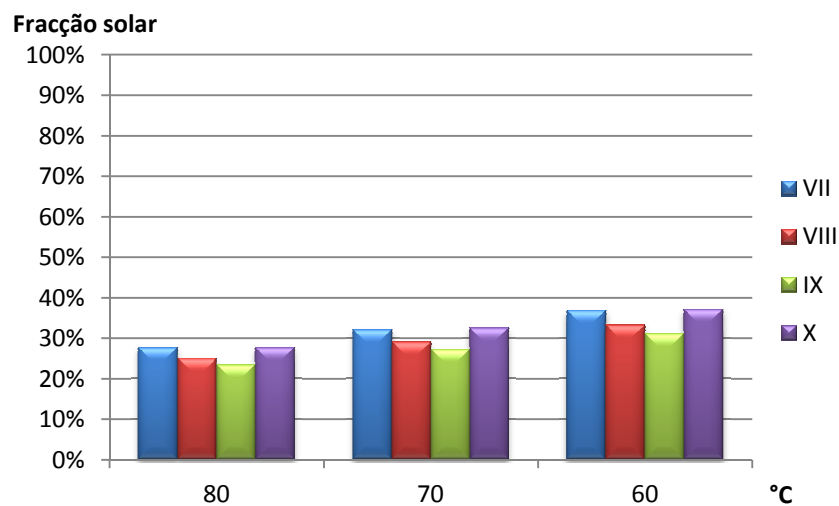
### 5.1.2 Comparação entre os edifícios

O volume de armazenamento seleccionado para os restantes 3 edifícios teve em consideração as análises energética e económica. Os resultados apresentam-se na tabela 5.2.

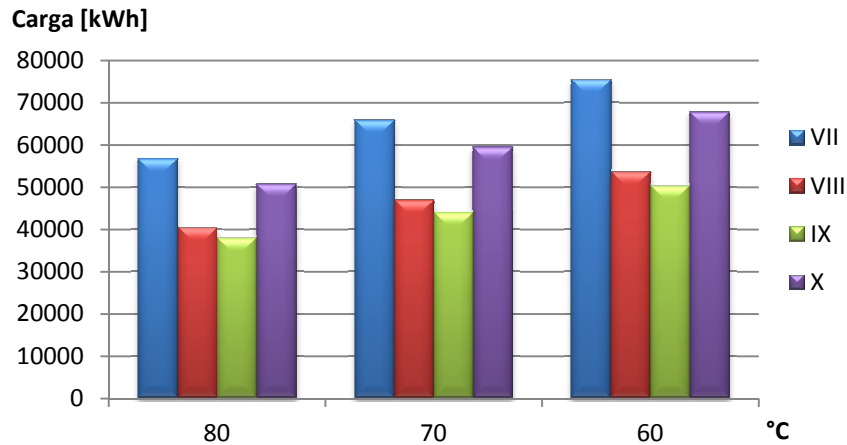
**Tabela 5.2** – Volume de armazenamento ótimo por temperatura de ida para os 4 edifícios com colectores F3 – 1.

Volume de armazenamento [m <sup>3</sup> ]				
Temperatura [°C]	Ed.VII	Ed.VIII	Ed.IX	Ed.X
80	3	2	2	2
70	3	2	2	3
60	3	2	2	3

A fracção solar dos edifícios é parecida, sendo no entanto, o valor da energia produzida por cada um bastante diferente. As seguintes figuras apresentam a fracção solar (figura 5.4) e energia produzida por edifício (figura 5.5).



**Figura 5.4** – F.S por edifício para o volume ótimo de cada um, com o colector F3 – 1.



**Figura 5.5** – Energia solar fornecida por edifício para o volume óptimo de cada um, com o colector F3 – 1.

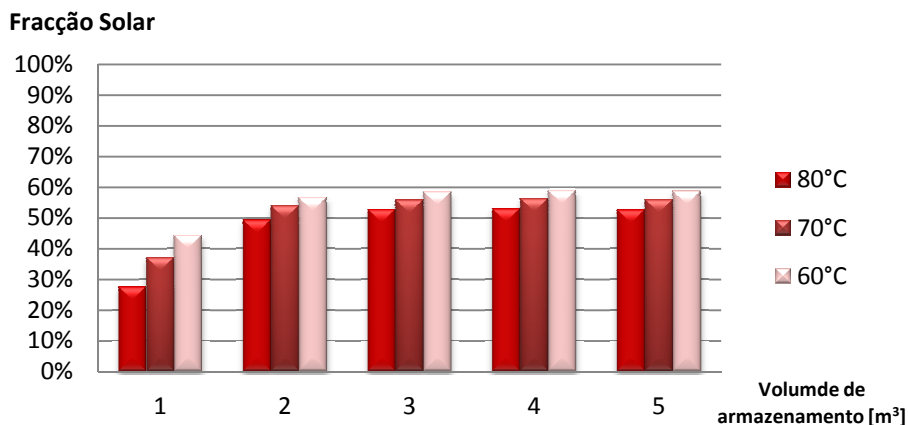
A figura 5.4, mostra que o Ed.X atinge uma fracção solar ligeiramente superior a do Ed.VII. No entanto, a energia produzida pelo Ed.VII é superior à do Ed.X, como mostra a figura 5.5. A F.S indica quanta energia solar foi utilizada para vencer a carga. Uma vez que cada edifício tem uma carga diferente, a comparação de fracções solares não serve para determinar qual produz mais energia, mas sim, para comparar se o sistema solar cobre muito ou pouco as cargas do respectivo edifício. Deste ponto de vista, o Ed.X tem um sistema solar mais bem equipado para vencer as cargas que o sistema do Ed.VII. Os edifícios VIII e IX são muito parecidos, tanto em F.S como em energia produzida, uma vez que são muito parecidos em construção e no tamanho do campo solar.



## 5.2 Colector tubo de vácuo (CRK-12)

### 5.2.1 Edifício VII

Os resultados apresentam-se no mesmo formato que no ponto anterior.



**Figura 5.6** – Gráfico representativo da evolução da F.S, em função da temperatura de ida e volume de armazenamento, para o colector CRK - 12 no Ed.VII.

**Tabela 5.3** – V.F.S por aumento de 1 m³ no volume de armazenamento, para o colector CRK - 12 no Ed.VII.

Temperatura [°C]	1 → 2 [m³]	2 → 3 [m³]	3 → 4 [m³]	4 → 5 [m³]
80	21,80%	3,40%	0,20%	-0,30%
70	16,90%	1,90%	0,40%	-0,30%
60	12,30%	1,80%	0,40%	-0,20%

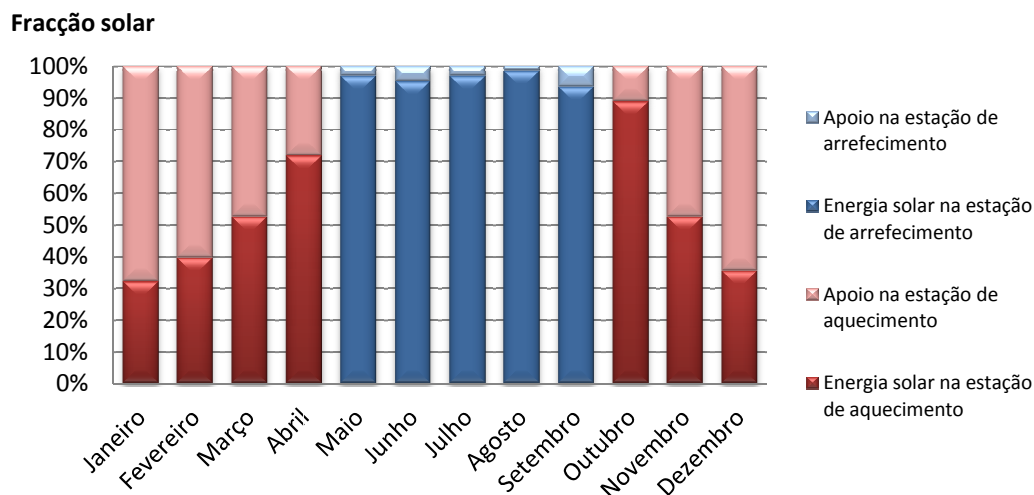
A figura 5.6 mostra grande diferença de F.S entre temperaturas para o volume de 1 m³. Isto deve-se a duas razões. A primeira diz respeito à dificuldade do sistema atingir a temperatura desejada (capítulo 4 ponto 3), que diminui com a diminuição da temperatura. A segunda é devido ao volume de armazenamento ser pequeno, o que restringe a capacidade do sistema de armazenar energia nas horas mais favoráveis para ser utilizada em horas desfavoráveis. Quando se aumenta o volume de armazenamento a diferença da F.S entre as temperaturas é menor, logo, a razão mais importante é a segunda.

A V.F.S tem um comportamento semelhante ao verificado para o colector F3 – 1. A explicação é igual à mencionada anteriormente.

Do ponto de vista energético, o melhor volume é o correspondente à maior F.S, neste caso os 4 m³. No entanto, aumentar o volume de armazenamento implica um investimento superior, mais um

depósito, o que pode não compensar. Por esta razão, procedeu-se a uma simulação económica para os vários volumes. Segundo os resultados da simulação o melhor volume é os 3 m<sup>3</sup>.

A figura 5.7 apresenta o balanço energético por mês para o volume seleccionado e temperatura de ida de 80°C.



**Figura 5.7** – Gráfico representativo do balanço energético mensal em percentagem, para o colector CRK - 12 no Ed.VII e temperatura de ida de 80°C.

O comportamento da F.S ao longo dos meses é semelhante ao observado para o colector plano selectivo (F3 – 1), com a diferença do valor da energia fornecida pelo sistema solar ser muito superior. A explicação do comportamento é a mesma que a referida para o colector F3 -1.

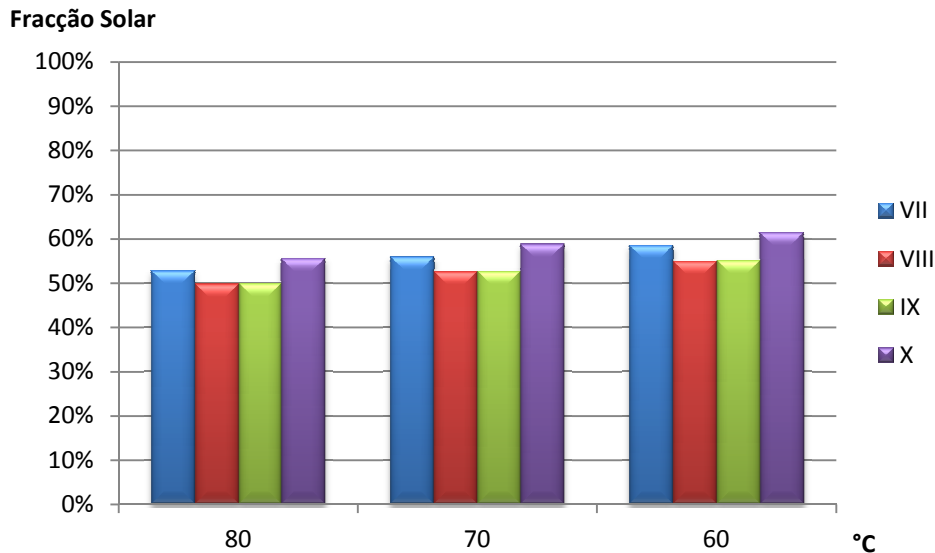
### 5.2.2 Comparação entre edifícios

O volume de armazenamento seleccionado para os restantes 3 edifícios teve em consideração a análise energética e a económica. Os resultados apresentam-se na tabela 5.4.

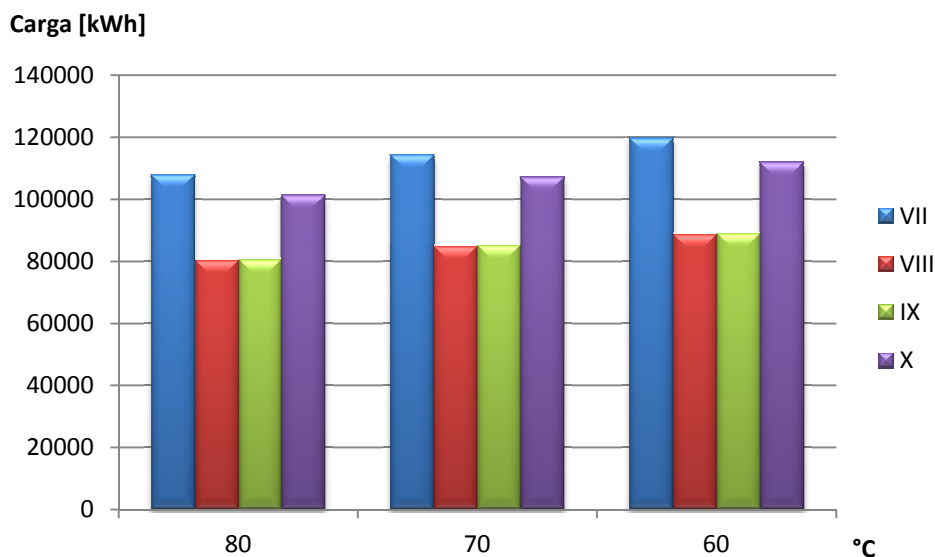
**Tabela 5.4** – Volume de armazenamento óptimo por temperatura de ida para os 4 edifícios com colector CRK-12.

Volume de armazenamento [m <sup>3</sup> ]				
Temperatura [°C]	Ed.VII	Ed.VIII	Ed.IX	Ed.X
80	3	2	2	3
70	3	2	2	3
60	3	2	2	3

A comparação das fracções solares e energias fornecidas entre edifícios apresenta-se nas figuras 5.8 e 5.9.



**Figura 5.8** – F.S por edifício para o volume óptimo de cada um e para o colector CRK - 12.

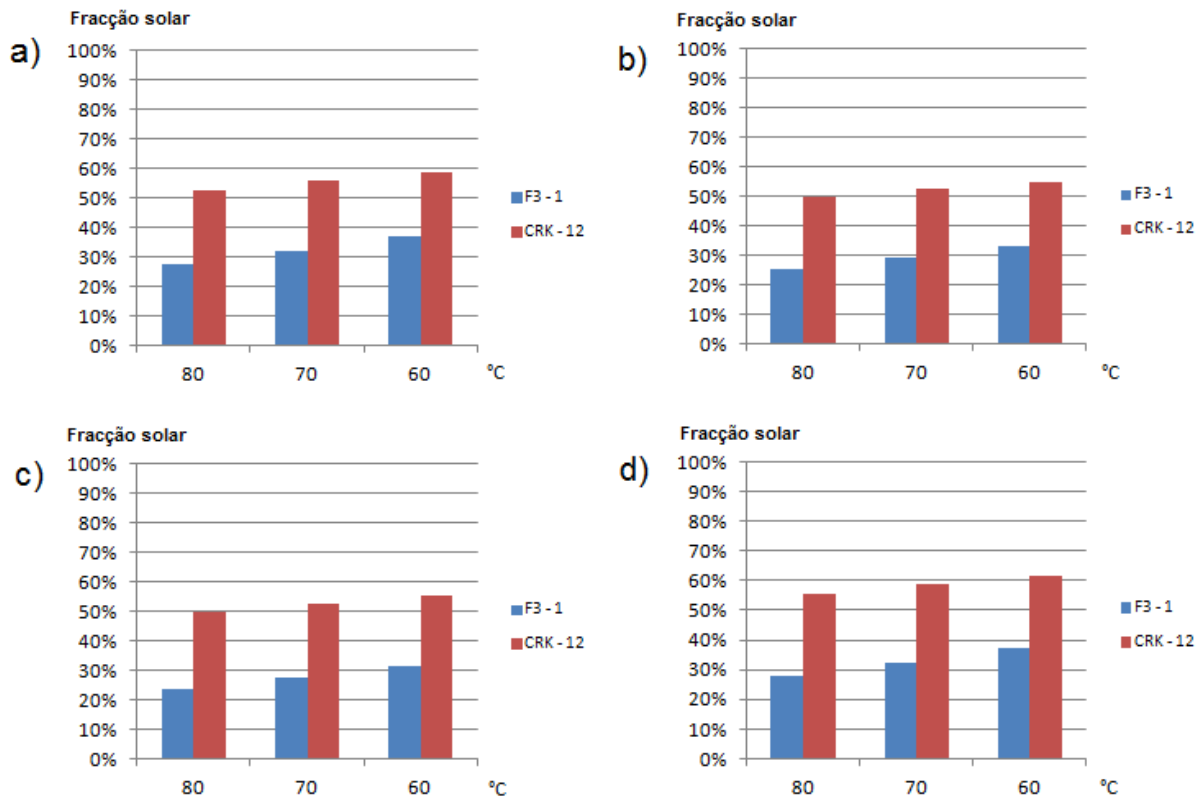


**Figura 5.9** – Energia solar fornecida por edifício para o volume óptimo de cada um e para o colector CRK - 12.

As diferenças entre os edifícios são semelhantes às observadas para o colector F3. A maior F.S pertence ao edifício X seguida o Ed.VII. As diferenças entre os edifícios VIII e IX são muito pequenas, apresentando F.S e energias fornecidas muito parecidas. Como explicado anteriormente, a comparação da F.S dos edifícios mostra a capacidade do sistema solar em vencer as cargas de cada um, logo, o melhor campo solar é o do edifício X. O Ed.VII continua a ser o maior produtor de energia solar.

### 5.3 Comparação entre colectores

A energia produzida por cada tipo de colector é muito diferente, pelo que é relevante comparar os resultados da F.S obtidos por tipo de colector. Na figura 5.10, apresentam-se as fracções solares por tipo de colector e para cada edifício com o volume de armazenamento definido na tabela 5.4.



**Figura 5.10** – Fracção solar por tipo de colector para o ed.VII (a), ed.VIII (b), ed.IX (c) e ed.X (d).

A figura anterior torna clara a diferença entre as F.S dos dois tipos de colectores. Os colectores de vácuo atingem valores muito superiores de fracção solar, devido a sua característica específica de vácuo que permite diminuir as perdas. Puramente do ponto de vista energético, os colectores tubo de vácuo apresentam os melhores resultados para os sistemas estudados.

## 5.4 Temperatura de ida na estação de arrefecimento

A temperatura de ida na estação de arrefecimento é de 95°C, valor imposto pelo chiller. No entanto, os colectores funcionam melhor com temperaturas mais baixas, razão pela qual se simulou também uma temperatura de 90°C. De seguida apresenta-se as equações 5.1 e 5.2 utilizadas para determinar a energia extra necessária fornecer pelo apoio de forma a elevar a temperatura dos 90°C para os 95°C. O valor da massa de água necessária aquecer foi obtido do programa SolTerm. Apresenta-se o exemplo para o edifício VII, sendo que o comportamento é semelhante para os restantes edifícios.

$$E_{\text{extra}} = \frac{m_{\text{água}} \times C_p \times \Delta T}{3600} \quad (5.1)$$

**Tabela 5.5** – Energia de apoio, fornecida e extra por temperatura para o colector F3-1.

Temperatura	Energia de Apoio [kWh]	Energia fornecida [kWh]	Energia extra [kWh]
90°C	6105	17662	391
95°C	6935	16829	0

**Tabela 5.6** – Energia de apoio, fornecida e extra por temperatura para o colector CRK-12.

Temperatura	Energia de Apoio [kWh]	Energia fornecida [kWh]	Energia extra [kWh]
90°C	867	22898	391
95°C	1285	22479	0

A energia extra é a energia necessária para elevar a água produzida a 90°C para os 95°C, mais a energia necessária para elevar os 90°C produzidos pelo apoio (quando o sistema solar não consegue atingir a temperatura de 90°C) até os 95°C necessários para o funcionamento do chiller.

A tabela 5.5 mostra uma poupança no apoio, mas é necessário determinar se essa poupança é suficiente para vencer a energia extra. A energia extra é independente do tipo de colector, a tabela 5.6 e 5.7 apresenta a poupança para o colector F3 – 1 e CRK – 12, respectivamente.

**Tabela 5.6** – Energia poupada, extra e balanço final para ambos os colectores.

Poupança (95°C → 90°C)	Energia extra [kWh]	Balanço final [kWh]
830	391	439
418	391	27

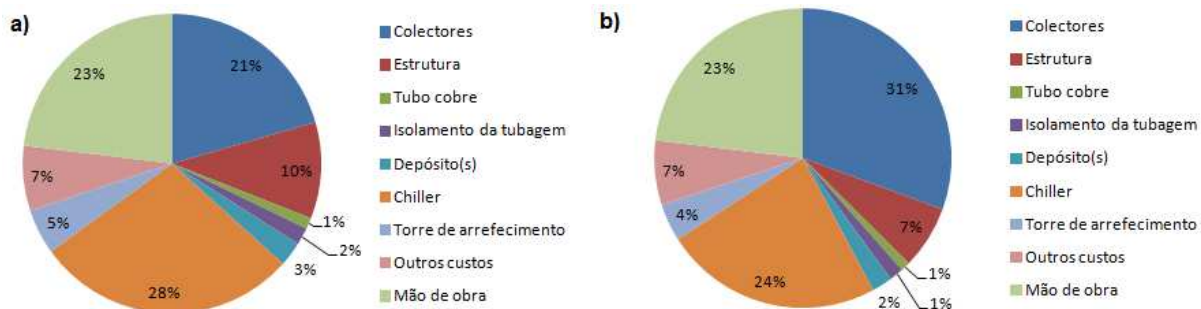
No caso do colector F3 -1 é possível verificar que existe uma poupança de 439 kWh. Este valor é obtido subtraindo à poupança, obtida por diminuir a temperatura dos 95°C para os 90°C, o valor gasto em energia extra. A poupança é menor para colector CRK - 12. Isto deve-se à maior capacidade deste tipo de colector de aproveitar a energia, o que resulta numa menor necessidade de apoio, que por sua vez significa uma menor poupança para compensar a energia extra. Comprova-se que utilizar o sistema solar para produzir uma temperatura de 90°C e fornecer os restantes com o apoio resulta numa poupança de energia.

## 5.5 Análise económica

A análise económica teve como objectivo determinar a rentabilidade financeira da instalação dos sistemas solares. Para tal, determinou-se os preços correspondentes a cada instalação. Os preços foram retirados das tabelas de venda ao público de cada empresa e através de consulta por correio electrónico no caso do chiller. Foi ainda considerado um acréscimo de 40% no preço final. Desses 40%, 10% são para componentes de controlo, bombas de circulação e outros gastos não contabilizados. O restante 30% considerou-se de mão-de-obra/lucro da empresa. Os preços totais e a contribuição de cada componente são apresentados na tabela 5.7 e na figura 5.11, respectivamente. Os preços detalhados encontram-se no anexo B tabelas B.19 e B.20.

**Tabela 5.7** – Preços do sistema solar por edifício e tipo de colector.

Edifício	Custo total [€]	
	F3-1	CRK-12
VII	387700	465006
VIII	308082	367106
IX	289262	359012
X	325722	403972



**Figura 5.11** – Contribuição de cada componente para o custo total do sistema, para o colector F3-1 (a) e para o CRK-12 (b).

Como é possível verificar na figura 5.11, o custo do sistema deve-se principalmente aos colectores, ao chiller e à mão de obra.

A análise económica do SolTerm requiere a introdução de algumas variáveis. Os valores considerados são os seguintes:

- Vida útil = 30 anos.
- Manutenção anual = 0,1% do preço do sistema.
- Renovação de componentes = 1,0% do preço do sistema.
- Valor residual = 0,0% do preço do sistema.
- Preço actual do combustível = 1.142 €/kg.
- Inflação = 1,5% ao ano.
- Deriva do preço da energia substituída = 2,0% acima da inflação.
- Há capital disponível para investir.

A análise realizada compara a rentabilidade do sistema com a rentabilidade de uma aplicação segura com juros constantes. Para tal, o SolTerm tem em conta o valor de combustível poupado pelo sistema solar e utiliza esse valor para ir amortecendo o custo do próprio sistema, manutenções e substituições de componentes. É ainda possível adicionar um valor correspondente a um incentivo, um subsídio que amortiza o custo inicial do sistema. Se no decorrer do tempo de vida o sistema se autofinanciar, o dinheiro, proveniente das poupanças seguintes até ao final do tempo de vida, é colocado a um juro igual ao da aplicação segura. No final do tempo de vida, compara-se o dinheiro obtido dessa poupança com o dinheiro obtido da aplicação segura, determinando se o projecto é viável. Considera-se viável quando o sistema solar obtém mais dinheiro que a aplicação segura. De seguida apresentam-se os resultados das simulações para os dois tipos de colectores, separadas por análises não considerando incentivos e análises considerando incentivos.

### **5.5.1 Colector plano selectivo (F3 – 1)**

#### **a) Análises sem incentivos**

As análises económicas realizadas utilizando os colectores F3 – 1, resultaram não viáveis para todas as temperaturas simuladas. A aplicação segura a juro constante é sempre melhor que o sistema solar, mesmo para juros de 0%. No entanto, se a razão da instalação do sistema solar não seja a rentabilidade, mas sim, de diminuir a factura energética, o sistema consegue pagar-se, por entre meio da poupança de combustível e juros dos lucros, no seu tempo de vida. Par tal, o juro mínimo ao qual os lucros têm de ser submetidos é o apresentado na tabela 5.8.

**Tabela 5.8** – Juros mínimos para viabilizar o sistema solar sem incentivos, com colectores F3 – 1.

Edifício	80°C	70°C	60°C
VII	9,2%	8,2%	7,3%
VIII	9,9%	8,9%	8,1%
IX	9,9%	8,9%	8,1%
X	8,8%	7,7%	6,9%

Os juros apresentados na tabela 5.8 são os mínimos que permitem pagar o sistema, ou seja, correspondem a um tempo de pagamento igual ao tempo de vida do sistema. Qualquer valor superior origina que o número de anos que se leva a pagar o sistema, diminua.

#### b) Análise com incentivos

As análises económicas considerando incentivos resultaram viáveis, com excepção de algumas temperaturas e valores de incentivo. Os resultados são apresentados na tabela 5.9, estes correspondem ao juro máximo que a aplicação financeira pode ter, para que o sistema seja mais rentável. O valor do incentivo é correspondente a 25,50 e 75 % do custo total do sistema.

**Tabela 5.9** – Juros máximo para viabilizar o sistema solar com diferentes incentivos, com colectores F3 – 1.

Temperatura [°C]	Ed.VII			Ed.VIII			Ed.IX			Ed.X		
	Incentivo [%]			Incentivo [%]			Incentivo [%]			Incentivo [%]		
	25	50	75	25	50	75	25	50	75	25	50	75
80	-	1,1	3,4	-	0,6	3,0	-	0,6	2,9	-	1,2	3,6
70	0,2	1,5	3,9	-	1,1	3,5	-	1,1	3,5	0,5	1,8	4,2
60	0,7	2,0	4,4	0,3	1,6	4,0	0,3	1,6	4,0	0,9	2,3	4,7

Como é possível verificar na tabela 5.9, quanto maior for o incentivo maior a margem na qual o sistema é mais rentável que a aplicação segura. Existem no entanto valores de incentivo, conjugados com valores de temperatura, que não causam uma a rentabilidade do sistema, por exemplo, o edifício VII com temperatura de 80°C e incentivo de 25%. O sistema torna-se competitivo com incentivos na ordem dos 75%, o que corresponde a juros de 3 a 4,7 %.



### 5.5.2 Colector tubo de vácuo (CRK – 12)

#### a) Análises sem incentivos

As análises económicas realizadas utilizando os colectores CRK – 12, resultaram viáveis somente para algumas temperaturas e até um determinado valor de juros para a aplicação segura. A tabela 5.10 apresenta os juros máximos para os quais o investimento no sistema solar é mais rentável que uma aplicação segura.

**Tabela 5.10** – Juros máximos para rentabilizar o sistema solar sem incentivos, com colectores CRK-12.

Edifício	80°C	70°C	60°C
VII	0,3%	0,5%	0,7%
VIII	0,1%	0,3%	0,4%
IX	0,2%	0,4%	0,5%
X	0,6%	0,8%	0,9%

Como é possível verificar o sistema solar só é rentável quando comparado com aplicações a juros muito baixos. O tempo que os sistemas rentáveis demoram a pagar-se é igual ao tempo de vida.

Se o objectivo não é o lucro, mas sim, a diminuição da factura energética, é possível, através de juros mais altos, o sistema pagar-se mais rapidamente. Para tal, os juros mínimos têm de ser os apresentados na tabela 5.11.

**Tabela 5.11** – Juros mínimos para viabilizar o sistema solar sem incentivos, com colectores CRK-12.

Edifício	80°C	70°C	60°C
VII	6,1%	5,7%	5,4%
VIII	6,5%	6,2%	5,9%
IX	6,4%	6,0%	5,7%
X	5,6%	5,2%	4,9%

Os juros mínimos apresentados correspondem ao valor que permite que o sistema se pague em 30 anos, ou seja, no seu tempo de vida. O aumento destes juros causa uma diminuição do tempo que o sistema demora a se pagar.

## b) Análise com incentivos

As análises económicas considerando incentivos resultaram viáveis para todas as temperaturas e valores de incentivo. Os resultados são apresentados na tabela 5.12.

**Tabela 5.12** – Juros máximo para viabilizar o sistema solar com diferentes incentivos, com colectores CRK-12.

Temperatura [°C]	Ed.VII			Ed.VIII			Ed.IX			Ed.X		
	Incentivo [%]			Incentivo [%]			Incentivo [%]			Incentivo [%]		
	25	50	75	25	50	75	25	50	75	25	50	75
80	1,3	2,7	5,1	1,1	2,6	5,0	1,2	2,5	4,9	1,6	2,9	5,3
70	1,5	2,9	5,3	1,4	2,8	5,2	1,4	2,7	5,1	1,7	3,1	5,5
60	1,6	3,0	5,4	1,5	2,9	5,3	1,5	2,9	5,3	1,9	3,3	5,7

Como é possível verificar na tabela 5.12, todas as combinações de valores de incentivo e temperatura causam com que o sistema seja rentável. Incentivos na ordem dos 50% e temperaturas de 60°C atingem os juros de 3% e quando se aumenta o incentivo atingem-se valores de 5 %. Isto corresponde a uma grande competitividade por parte do sistema em comparação com aplicações financeiras.

## 6 Conclusões

A implementação do sistema solar de apoio à climatização proposto neste trabalho pode reduzir significativamente a factura energética do edifício e também reduzir as emissões de carbono para a atmosfera. As tabelas 6.6 e 6.7 apresentam as emissões de CO<sub>2</sub> equivalentes evitadas por ano, para cada tipo de colectador, por temperatura de ida.

**Tabela 6.1** – Emissões de CO<sub>2</sub> equivalentes para o colectador F3 – 1, por temperatura de ida.

Emissões de CO <sub>2</sub> equivalentes evitadas [ton/ano]				
Temperatura de ida	Ed.VII	Ed.VIII	Ed.IX	Ed.X
80°C	14,3	10,21	9,57	12,79
70°C	16,62	11,83	11,08	14,99
60°C	19,03	13,53	12,69	17,09

**Tabela 6.2** – Emissões de CO<sub>2</sub> equivalentes para o colectador CRK - 12, por temperatura de ida.

Emissões de CO <sub>2</sub> equivalentes evitadas [ton/ano]				
Temperatura de ida	Ed.VII	Ed.VIII	Ed.IX	Ed.X
80°C	27,19	20,22	20,29	25,53
70°C	28,8	21,37	21,45	26,99
60°C	30,16	22,33	22,41	28,21

Nos sistemas estudados existe outra vantagem causada pela substituição dos equipamentos de arrefecimento pelo chiller de absorção. A substituição destes equipamentos reduz a potência contratada à rede, o que por sua vez, origina uma redução da factura eléctrica.

Existe um factor que não foi considerado na análise económica, que diz respeito ao desperdício de dinheiro correspondente ao investimento já realizado no equipamento de climatização para frio, caso os sistemas solares propostos fossem instalados actualmente. A melhor forma de anular este desperdício seria instalar o sistema considerando o chiller de absorção, mas somente instalá-lo quando o actual equipamento de frio necessitasse de substituição.

A rentabilidade calculada para os sistemas solares é dependente dos preços dos componentes, logo, existe um erro associado à exactidão dos preços encontrados, assim como dos valores estimados para a mão-de-obra e outros componentes. Independente do erro associado aos

preços, é possível retirar conclusões das análises efectuadas. Tanto do ponto de vista energético como do ponto de vista económico, a utilização dos colectores tubo de vácuo é a melhor opção.

Considerando todas as vantagens da instalação de um sistema solar de apoio à climatização é possível concluir que este é um bom investimento do ponto de vista energético, ambiental e possivelmente económico, dependendo do preço do sistema e do valor do incentivo que se conseguia obter.

Como trabalhos futuros pode-se considerar: o estudo da interligação dos 4 sistemas de forma a verificar o comportamento da fracção solar, uma vez ser possível movimentar energia de um edifício, que não a esteja a utilizar, para outro que não a consegue obter do seu próprio sistema solar; a utilização de sistemas de concentração solar (exemplo: colectores parabólicos compostos) de forma a poder utilizar chillers a vapor, melhor rendimento; e o estudo da implementação de medidas eficiência energética, de forma a diminuir as cargas de climatização, e a sua influência no comportamento dos sistemas solares.

## Bibliografia

- [1] DENG, S. DAI, Y.J. WANG, R.Z. ZHAI, X.Q. – “Case study of green energy system design for a multi-function building in campus”. *Sustainable Cities and Society* 1 (2011) 152– 163
- [2] KALKAN, Naci. BERCIN, Kutalmis. CANGUL, Ozcel. MORALES, Mario. SALEEM, Magdoom. MARJI, Izzat. METAXA, Angeliki. TSIGKOGIANNI, Eleni – “A renewable energy solution for Highfield Campus of University of Southampton”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 2940 – 2959
- [3] HELM, M. KEIL, C. HIEBLER, S. MEHLING, H. SCHWEIGLER, C.– “Solar heating and cooling system with absorption chiller and low temperature latent heat storage: Energetic performance and operational experience”. *International Journal of Refrigeration*, 32 (2009), 596 – 606.
- [4] LI, Z. F., SUMATHY, K. – “Experimental studies on a solar powered air conditioning system with partitioned hot water storage tank”. *Solar Energy*, 71 (2001), 285 – 297.
- [5] SYED, A. IZQUIERDO, M. RODRÍGUEZ, P. MAIDMENT, G. MISSENDEN, J. LECUONA, A. TOZER, R. – “A novel experimental investigation of a solar cooling system in Madrid”. *International Journal of Refrigeration* 28 (2005), 859 – 871.
- [6] ROSIEK, S., BATLLES, F.J. – “Integration of the solar thermal energy in the construction: Analysis of the solar-assisted air-conditioning system installed in CIESOL building”. *Renewable Energy* 34 (2009) 1423 – 1431.
- [7] CONSTANTINOS, A. GROSSMAN, Gershon. HENNING, Hans-Martin. FERREIRA, Carlos. PODESSER, Erick. WANG, Lei. WIEMKEN, Edo – “Solar air conditioning in Europe—an overview”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11 (2007) 299 – 314.
- [8] “Caixa Geral de Depósitos Solar thermal central, Portugal”. [Consult.18 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.setatwork.eu/database/products/R188.htm>>.
- [9] Reis, Andre. “Aplicação de um sistema solar térmico a uma unidade de climatização em Portugal”. Lisboa: FC.UL, 2012. Dissertação de Mestrado.
- [10] Pereira, Andreia. “A contribuição de um sistema solar térmico no desempenho energético do edifício solar XXI”. Monte da Caparica: FCT-UNL, 2011. Dissertação de Mestrado.
- [11] Camacho, Gonçalves. “A energia solar e a utilização racional de energia em edifícios de acordo com os regulamentos em vigor”. Funchal: Universidade da Madeira, 2013. Dissertação de Mestrado.
- [12] “A brief history of climate change”. [Consult.10 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.bbc.com/news/science-environment-15874560>>.
- [13] “Revolução Industrial”. [Consult.10 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL:[http://pt.wikipedia.org/wiki/Revolu%C3%A7%C3%A3o\\_Industrial](http://pt.wikipedia.org/wiki/Revolu%C3%A7%C3%A3o_Industrial)>.
- [14] “Declatation of the United Nations Conference on the Human Environment ”. [Consult.10 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?documentid=97&articleid=1503>>

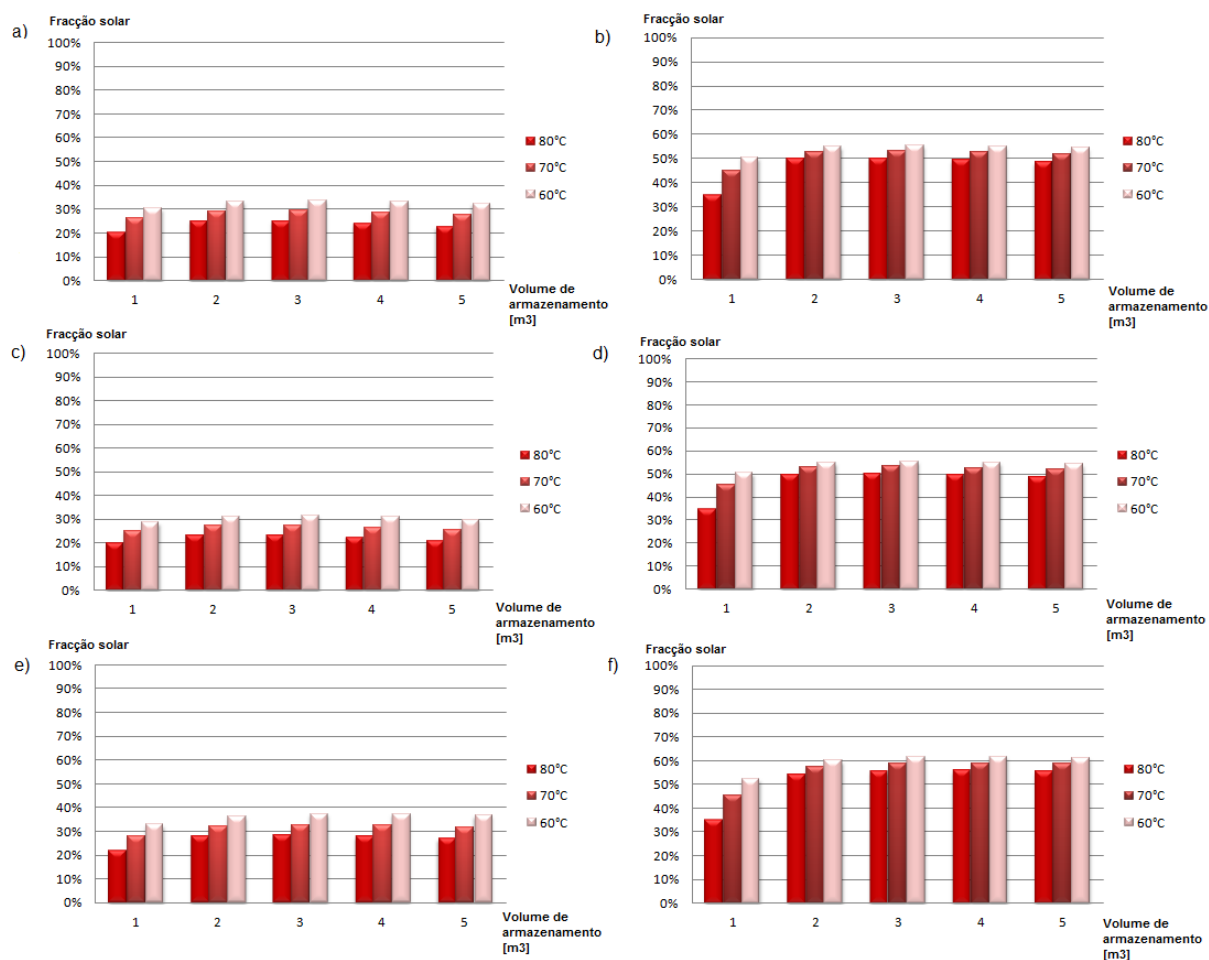
- [15] "The IPCC First Assessment Report Overview". [Consult.10 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL:[http://www.ipcc.ch/ipccreports/1992%20IPCC%20Supplement/IPCC\\_1990\\_and\\_1992\\_Assessments/English/ipcc\\_90\\_92\\_assessments\\_far\\_overview.pdf](http://www.ipcc.ch/ipccreports/1992%20IPCC%20Supplement/IPCC_1990_and_1992_Assessments/English/ipcc_90_92_assessments_far_overview.pdf)>
- [16] "The United Nations Framework Convention on Climate Change". [Consult.10 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL: [http://unfccc.int/essential\\_background/convention/items/6036.php](http://unfccc.int/essential_background/convention/items/6036.php)>
- [17] "IPCC Second Assessment". [Consult.10 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf>>
- [18] "Kyoto Protocol". [Consult.10 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL: [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)>
- [19] "IPCC Third Assessment Report: Summary for Policymakers". [Consult.10 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL:[http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/vol4/english/pdf/spm.pdf](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/vol4/english/pdf/spm.pdf)>
- [20] "Relatório Stern". [Consult.10 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL:[http://pt.wikipedia.org/wiki/Relat%C3%B3rio\\_Stern](http://pt.wikipedia.org/wiki/Relat%C3%B3rio_Stern)>
- [21] "IPCC Fourth Assessment Report: Summary for Policymakers". [Consult.10 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL:[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_spm.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf)>
- [22] "2009 United Nations Climate Change Conference". [Consult.10 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL:[http://en.wikipedia.org/wiki/2009\\_United\\_Nations\\_Climate\\_Change\\_Conference](http://en.wikipedia.org/wiki/2009_United_Nations_Climate_Change_Conference)>
- [23] Direcção Geral de Energia e Geologia. "Balanço Energético sintético 2012". Junho de 2013.
- [24] "Energy Balances 2012". [Consult.12 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL:[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/documents/Energy\\_Balances\\_2012.xlsx](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/documents/Energy_Balances_2012.xlsx)>
- [25] Projecto GREENPRO – "Energia Solar Térmica – manual sobre tecnologias, projecto e instalação". Janeiro de 2004.
- [26] "Global horizontal irradiation for Europe". [Consult.13 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL:<http://solargis.info/doc/pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Europe-en.png>>
- [27] European Solar Thermal Industry Federation – "Trends and Market Statistics 2012". Junho 2013.
- [28] Resolução do Conselho de Ministros nº 72/1998.
- [29] Resolução do Conselho de Ministros nº 59/2001.
- [30] Resolução do Conselho de Ministros nº 154/2001.
- [31] Resolução do Conselho de Ministros nº 63/2003.
- [32] Resolução do Conselho de Ministros nº 169/2005.
- [33] Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios.
- [34] Decreto-Lei nº 78 de 2006, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios e o Certificado de Desempenho Energético.
- [35] Decreto-Lei nº 79 de 2006, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE).

- [36] Decreto-Lei nº 80 de 2006, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).
- [37] Resolução do Conselho de Ministros nº 2/2011.
- [38] “Apresentação”. [Consult.18 Março 2014]. Disponível em WWW:  
<URL:<http://sites.fct.unl.pt/campus-verde/pages/apresentacao>>
- [39] “THE UNIVERSITY CHARTER FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT”. [Consult.18 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.iisd.org/educate/declarat/coper.htm>>
- [40] “MEMORANDUM OF UNDERSTANDING”. [Consult.18 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL:[http://www.ulsf.org/resources\\_ghesp.html](http://www.ulsf.org/resources_ghesp.html)>
- [41] “Política Ambiental”. [Consult.18 Março 2014]. Disponível em WWW: <URL:[http://sites.fct.unl.pt/campus-verde/files/politica\\_ambiental.pdf](http://sites.fct.unl.pt/campus-verde/files/politica_ambiental.pdf)>
- [42] “Planta do campus”. [Consult.10 Fevereiro 2013]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.fct.unl.pt/faculdade/planta-do-campus>>.
- [43] Divisão de Apoio Técnico – Secção de Planeamento Físico e Ambiental. “Ficha técnica do Ed.VII”
- [44] “Mapas Google”. [Consult.10 Fevereiro 2013]. Disponível em WWW: <URL:<https://maps.google.pt/>>.
- [45] Divisão de Apoio Técnico – Secção de Planeamento Físico e Ambiental. “Ficha técnica do Ed.VIII”.
- [46] Divisão de Apoio Técnico – Secção de Planeamento Físico e Ambiental. “Ficha técnica do Ed.IX”.
- [47] Divisão de Apoio Técnico – Secção de Planeamento Físico e Ambiental. “Ficha técnica do Ed.X”.
- [48] Silva, Pedro. “Soluções de racionalização energética do Edifício do DEMI/FCT/UNL à luz do RSECE”. Monte da Caparica: FCT-UNL, 2012. Dissertação de Mestrado.
- [49] Wolf. “Technical documentation, Solar technology”. Abril de 2013
- [50] Carrier/SANYO. Product Data – 16LJ Single-Effect, Low Temperature Hot Water Hermetic Absorption Liquid Chiller. 2005.
- [51] RSD. “RSD FIBERGLASS COOLING TOWERS CATALOG”. Abril de 2013.
- [52] “Extremos Climatológicos - Introdução”. [Consult.18 Fevereiro 2013]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.ipma.pt/pt/oclima/extremos.clima/>>.
- [53] “Ethylene glycol”. [Consult.18 Fevereiro 2013]. Disponível em WWW: <URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Ethylene\\_glycol](http://en.wikipedia.org/wiki/Ethylene_glycol)>.
- [54] LNEG. “Manual de instalação e utilização do software SolTerm Versão 1.9”. 12 de Maio 2010.

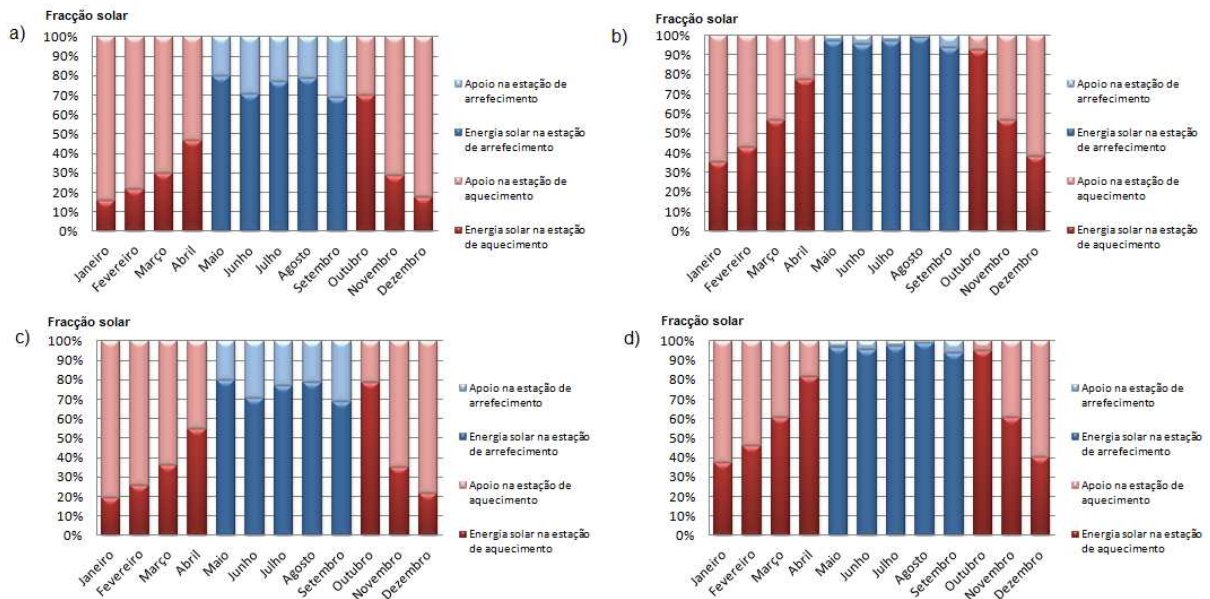




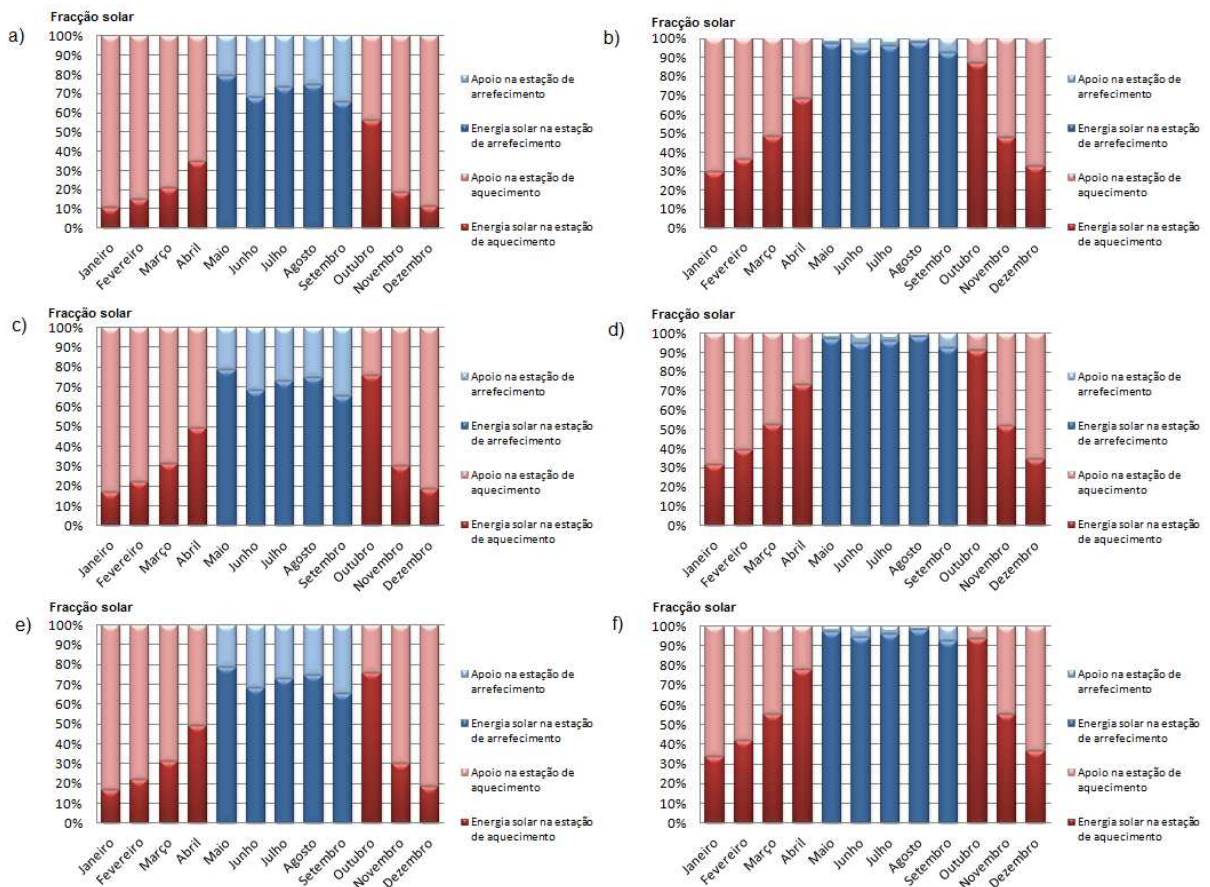
## Anexo A – Figuras



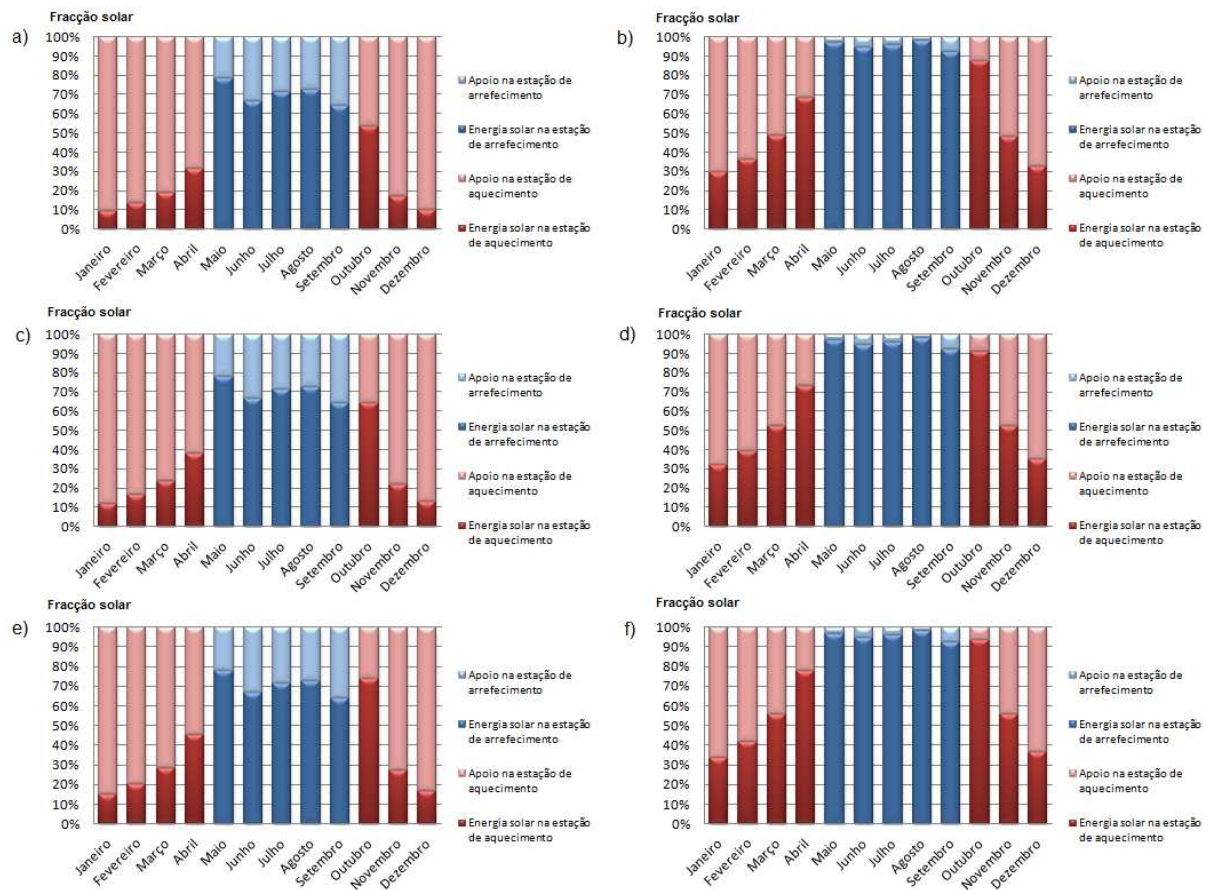
**Figura A.1** - Gráficos representativos da evolução da F.S, em função da temperatura de ida e volume de armazenamento. Para o edifício VIII, colector F3-1 (a) e colector CRK-12 (b). Para o ed.IX, colector F3-1 (c) e colector CRK-12 (d). Para o ed.X, colector F3-1 (e) e colector CRK-12 (f).



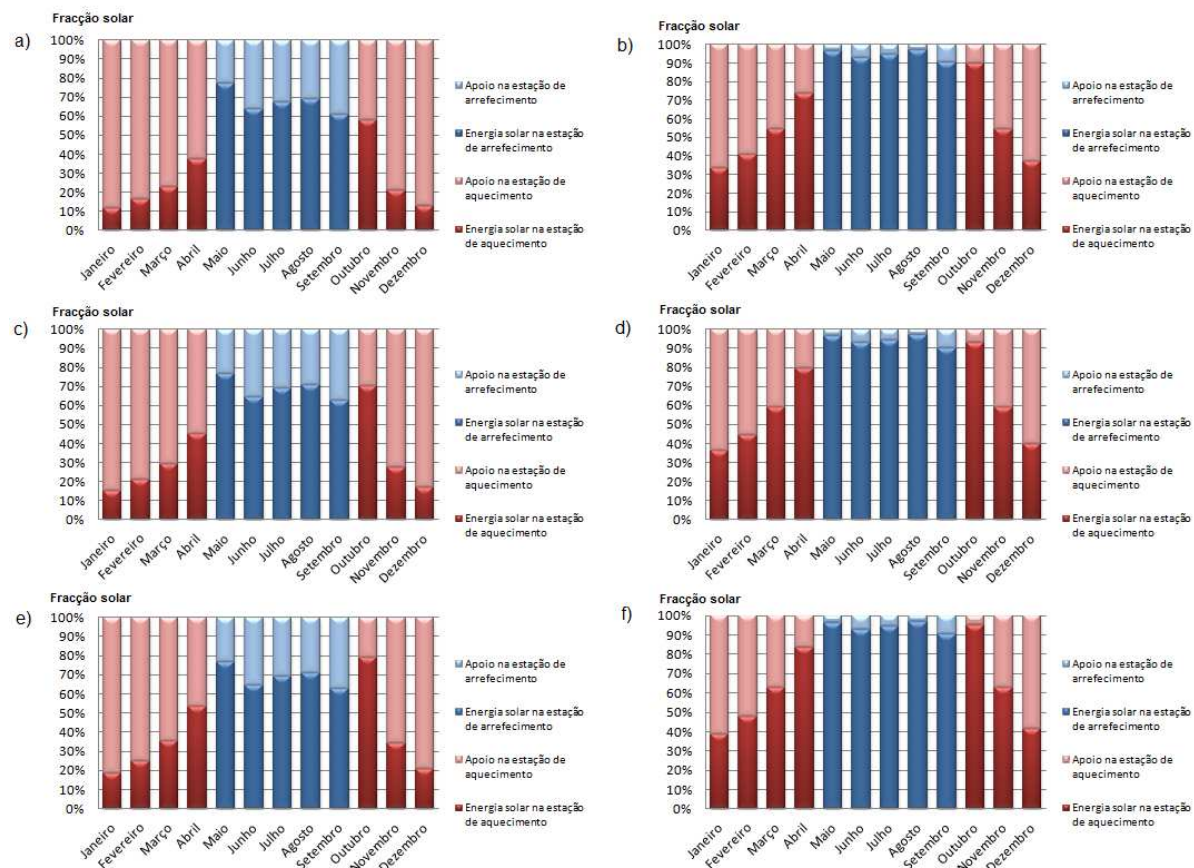
**Figura A.2** - Gráficos representativos do balanço energético mensal em percentagem para o edifício VII. Para a temperatura de ida de 70°C, coletor F3-1 (a) e coletor CRK-12 (b). Para a temperatura de ida de 60°C, coletor F3-1 (c) e coletor CRK-12 (d).



**Figura A.3** - Gráficos representativos do balanço energético mensal em percentagem para o edifício VIII. Para a temperatura de ida de 80°C, coletor F3-1 (a) e coletor CRK-12 (b). Para a temperatura de ida de 70°C, coletor F3-1 (c) e coletor CRK-12 (d). Para a temperatura de ida de 60°C, coletor F3-1 (e) e coletor CRK-12 (f).



**Figura A.4** - Gráficos representativos do balanço energético mensal em percentagem para o edifício IX. Para a temperatura de ida de 80°C, colector F3-1 (a) e colector CRK-12 (b). Para a temperatura de ida de 70°C, colector F3-1 (c) e colector CRK-12 (d). Para a temperatura de ida de 60°C, colector F3-1 (e) e colector CRK-12 (f).



**Figura A.5** - Gráficos representativos do balanço energético mensal em percentagem para o edifício X. Para a temperatura de ida de 80°C, coletor F3-1 (a) e coletor CRK-12 (b). Para a temperatura de ida de 70°C, coletor F3-1 (c) e coletor CRK-12 (d). Para a temperatura de ida de 60°C, coletor F3-1 (e) e coletor CRK-12 (f).



## Anexo B – Tabelas

**Tabela B.1** – Cargas mensais e diárias para a estação de aquecimento do edifício VII.

Mês	Tint [°C]	T <sub>exterior média</sub> [°C]	$\Delta T( T_{int} - T_{ext} )$ [°C]	CCT <sub>mês</sub>	C <sub>m</sub> [kWh]	C <sub>d</sub> [kWh]
Janeiro	20	10,7	9,3	0,19	34860,3	1124,5
Fevereiro	20	11,5	8,5	0,18	31861,6	1137,9
Março	20	12,8	7,2	0,15	26988,6	870,6
Abril	20	14,5	5,5	0,11	20616,3	687,2
Outubro	20	17,7	2,3	0,05	8621,4	278,1
Novembro	20	13,6	6,4	0,13	23989,9	799,7
Dezembro	20	11,0	9,0	0,19	33735,8	1088,3
Total			48,2	1	180674	

**Tabela B.2** – Cargas mensais e diárias para a estação de arrefecimento do edifício VII.

Mês	Tint [°C]	T <sub>exterior média</sub> [°C]	$\Delta T( T_{int} - T_{ext} )$ [°C]	D <sub>m</sub> [%]	C <sub>m</sub> [kWh]	C <sub>d</sub> [kWh]
Maio	25	17,3	7,7	-77,4	1073,6	34,6
Junho	25	20,0	5,0	-15,2	4031,3	134,4
Julho	25	22,3	2,7	37,8	6550,9	211,3
Agosto	25	22,5	2,5	42,4	6770,0	218,4
Setembro	25	21,2	3,8	12,4	5345,9	178,2
$\Delta T_{\text{médio}}$ :			4,3	Carga média:	4754,3	

**Tabela B.3** – Cargas mensais e diárias para a estação de aquecimento do edifício IX.

Mês	Tint [°C]	T <sub>exterior média</sub> [°C]	$\Delta T( T_{int} - T_{ext} )$ [°C]	CCT <sub>mês</sub>	C <sub>m</sub> [kWh]	C <sub>d</sub> [kWh]
Janeiro	20	10,7	9,3	0,19	27396,5	883,8
Fevereiro	20	11,5	8,5	0,18	25039,8	894,3
Março	20	12,8	7,2	0,15	21210,2	684,2
Abril	20	14,5	5,5	0,11	16202,2	540,1
Outubro	20	17,7	2,3	0,05	6775,5	218,6
Novembro	20	13,6	6,4	0,13	18853,5	628,5
Dezembro	20	11,0	9,0	0,19	26512,8	855,3
Total			48,2	1	141991	

**Tabela B.4** – Cargas mensais e diárias para a estação de arrefecimento do edifício IX.

Mês	Tint [°C]	T <sub>exterior média</sub> [°C]	$\Delta T( T_{int} - T_{ext} )$ [°C]	D <sub>m</sub> [%]	C <sub>m</sub> [kWh]	C <sub>d</sub> [kWh]
Maio	25	17,3	7,7	-77,4	875,9	28,3
Junho	25	20,0	5,0	-15,2	3289,1	109,6
Julho	25	22,3	2,7	37,8	5344,8	172,4
Agosto	25	22,5	2,5	42,4	5523,5	178,2
Setembro	25	21,2	3,8	12,4	4361,6	145,4
Total			4,3	Carga média:	3879,0	

**Tabela B.5** – Cargas mensais e diárias para a estação de aquecimento do edifício X.

Mês	Tint [°C]	T <sub>exterior média</sub> [°C]	$\Delta T( T_{int} - T_{ext} )$ [°C]	CCT <sub>mês</sub>	C <sub>m</sub> [kWh]	C <sub>d</sub> [kWh]
Janeiro	20	10,7	9,3	0,19	29644,6	956,3
Fevereiro	20	11,5	8,5	0,18	27094,5	967,7
Março	20	12,8	7,2	0,15	22950,7	740,3
Abril	20	14,5	5,5	0,11	17531,8	584,4
Outubro	20	17,7	2,3	0,05	7331,5	236,5
Novembro	20	13,6	6,4	0,13	20400,6	680,0
Dezembro	20	11,0	9,0	0,19	28688,3	925,4
Total			48,2	1	153642	Ok

**Tabela B.6** – Cargas mensais e diárias para a estação de arrefecimento do edifício X.

Mês	Tint [°C]	T <sub>exterior média</sub> [°C]	$\Delta T( T_{int} - T_{ext} )$ [°C]	D <sub>m</sub> [%]	C <sub>m</sub> [kWh]	C <sub>d</sub> [kWh]
Maio	25	17,3	7,7	-77,4	1294,2	41,7
Junho	25	20,0	5,0	-15,2	4859,9	162,0
Julho	25	22,3	2,7	37,8	7897,3	254,8
Agosto	25	22,5	2,5	42,4	8161,5	263,3
Setembro	25	21,2	3,8	12,4	6444,6	214,8
Total			4,3	Carga média:	5731,5	

**Tabela B.7** – Cargas horárias para a estação de aquecimento do edifício VII.

Horas	O <sub>hora</sub> [%]	CCD <sub>hora</sub>	C <sub>h</sub> (Janeiro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Fevereiro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Março) [kWh]	C <sub>h</sub> (Abril) [kWh]	C <sub>h</sub> (Outubro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Novembro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Dezembro) [kWh]
7h às 8h	5	0,01	6,8	6,9	5,3	4,2	1,7	4,8	6,6
8h às 9h	80	0,10	109,0	110,3	84,4	66,6	27,0	77,5	105,5
9h às 10h	85	0,10	115,9	117,2	89,7	70,8	28,7	82,4	112,1
10h às 11h	100	0,12	136,3	137,9	105,5	83,3	33,7	96,9	131,9
11h às 12h	95	0,12	129,5	131,0	100,3	79,1	32,0	92,1	125,3
12h às 13h	45	0,05	61,3	62,1	47,5	37,5	15,2	43,6	59,4
13h às 14h	70	0,08	95,4	96,6	73,9	58,3	23,6	67,9	92,3
14h às 15h	95	0,12	129,5	131,0	100,3	79,1	32,0	92,1	125,3
15h às 16h	100	0,12	136,3	137,9	105,5	83,3	33,7	96,9	131,9
16h às 17h	90	0,11	122,7	124,1	95,0	75,0	30,3	87,2	118,7
17h às 18h	50	0,06	68,2	69,0	52,8	41,6	16,9	48,5	66,0
18h às 19h	10	0,01	13,6	13,8	10,6	8,3	3,4	9,7	13,2
Total	825	1,00	1124,5	1137,9	870,6	687,2	278,1	799,7	1088,3

**Tabela B.8** – Cargas horárias para a estação de arrefecimento do edifício VII.

Horas	O <sub>hora</sub> [%]	CCD <sub>hora</sub>	C <sub>h</sub> (Maio) [kWh]	C <sub>h</sub> (Junho) [kWh]	C <sub>h</sub> (julho) [kWh]	C <sub>h</sub> (Agosto) [kWh]	C <sub>h</sub> (Setembro) [kWh]
7h às 8h	5	0,01	0,2	0,8	1,3	1,3	1,1
8h às 9h	80	0,10	3,4	13,0	20,5	21,2	17,3
9h às 10h	85	0,10	3,6	13,8	21,8	22,5	18,4
10h às 11h	100	0,12	4,2	16,3	25,6	26,5	21,6
11h às 12h	95	0,12	4,0	15,5	24,3	25,1	20,5
12h às 13h	45	0,05	1,9	7,3	11,5	11,9	9,7
13h às 14h	70	0,08	2,9	11,4	17,9	18,5	15,1
14h às 15h	95	0,12	4,0	15,5	24,3	25,1	20,5
15h às 16h	100	0,12	4,2	16,3	25,6	26,5	21,6
16h às 17h	90	0,11	3,8	14,7	23,1	23,8	19,4
17h às 18h	50	0,06	2,1	8,1	12,8	13,2	10,8
18h às 19h	10	0,01	0,4	1,6	2,6	2,6	2,2
Total	825	1,00	34,6	134,4	211,3	218,4	178,2

**Tabela B.9** – Cargas horárias para a estação de aquecimento do edifício IX.

Horas	O <sub>hora</sub> [%]	CCD <sub>hora</sub>	C <sub>h</sub> (Janeiro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Fevereiro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Março) [kWh]	C <sub>h</sub> (Abril) [kWh]	C <sub>h</sub> (Outubro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Novembro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Dezembro) [kWh]
7h às 8h	5	0,01	5,4	5,4	4,1	3,3	1,3	3,8	5,2
8h às 9h	80	0,10	85,7	86,7	66,3	52,4	21,2	60,9	82,9
9h às 10h	85	0,10	91,1	92,1	70,5	55,6	22,5	64,7	88,1
10h às 11h	100	0,12	107,1	108,4	82,9	65,5	26,5	76,2	103,7
11h às 12h	95	0,12	101,8	103,0	78,8	62,2	25,2	72,4	98,5
12h às 13h	45	0,05	48,2	48,8	37,3	29,5	11,9	34,3	46,7
13h às 14h	70	0,08	75,0	75,9	58,1	45,8	18,5	53,3	72,6
14h às 15h	95	0,12	101,8	103,0	78,8	62,2	25,2	72,4	98,5
15h às 16h	100	0,12	107,1	108,4	82,9	65,5	26,5	76,2	103,7
16h às 17h	90	0,11	96,4	97,6	74,6	58,9	23,8	68,6	93,3
17h às 18h	50	0,06	53,6	54,2	41,5	32,7	13,2	38,1	51,8
18h às 19h	10	0,01	10,7	10,8	8,3	6,5	2,6	7,6	10,4
Total	825	1,00	883,8	894,3	684,2	540,1	218,6	628,5	855,3

**Tabela B.10** – Cargas horárias para a estação de arrefecimento do edifício IX.

Horas	O <sub>hora</sub> [%]	CCD <sub>hora</sub>	C <sub>h</sub> (Maio) [kWh]	C <sub>h</sub> (Junho) [kWh]	C <sub>h</sub> (julho) [kWh]	C <sub>h</sub> (Agosto) [kWh]	C <sub>h</sub> (Setembro) [kWh]
7h às 8h	5	0,01	0,2	0,7	1,0	1,1	0,9
8h às 9h	80	0,10	2,7	10,6	16,7	17,3	14,1
9h às 10h	85	0,10	2,9	11,3	17,8	18,4	15,0
10h às 11h	100	0,12	3,4	13,3	20,9	21,6	17,6
11h às 12h	95	0,12	3,3	12,6	19,9	20,5	16,7
12h às 13h	45	0,05	1,5	6,0	9,4	9,7	7,9
13h às 14h	70	0,08	2,4	9,3	14,6	15,1	12,3
14h às 15h	95	0,12	3,3	12,6	19,9	20,5	16,7
15h às 16h	100	0,12	3,4	13,3	20,9	21,6	17,6
16h às 17h	90	0,11	3,1	12,0	18,8	19,4	15,9
17h às 18h	50	0,06	1,7	6,6	10,4	10,8	8,8
18h às 19h	10	0,01	0,3	1,3	2,1	2,2	1,8
Total	825	1,00	28,3	109,6	172,4	178,2	145,4



**Tabela B.11** – Cargas horárias para a estação de aquecimento do edifício X.

Horas	O <sub>hora</sub> [%]	CCD <sub>hora</sub>	C <sub>h</sub> (Janeiro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Fevereiro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Março) [kWh]	C <sub>h</sub> (Abril) [kWh]	C <sub>h</sub> (Outubro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Novembro) [kWh]	C <sub>h</sub> (Dezembro) [kWh]
7h às 8h	5	0,01	5,8	5,9	4,5	3,5	1,4	4,1	5,6
8h às 9h	80	0,10	92,7	93,8	71,8	56,7	22,9	65,9	89,7
9h às 10h	85	0,10	98,5	99,7	76,3	60,2	24,4	70,1	95,3
10h às 11h	100	0,12	115,9	117,3	89,7	70,8	28,7	82,4	112,2
11h às 12h	95	0,12	110,1	111,4	85,3	67,3	27,2	78,3	106,6
12h às 13h	45	0,05	52,2	52,8	40,4	31,9	12,9	37,1	50,5
13h às 14h	70	0,08	81,1	82,1	62,8	49,6	20,1	57,7	78,5
14h às 15h	95	0,12	110,1	111,4	85,3	67,3	27,2	78,3	106,6
15h às 16h	100	0,12	115,9	117,3	89,7	70,8	28,7	82,4	112,2
16h às 17h	90	0,11	104,3	105,6	80,8	63,8	25,8	74,2	101,0
17h às 18h	50	0,06	58,0	58,6	44,9	35,4	14,3	41,2	56,1
18h às 19h	10	0,01	11,6	11,7	9,0	7,1	2,9	8,2	11,2
Total	825	1,00	956,3	967,7	740,3	584,4	236,5	680,0	925,4

**Tabela B.12** – Cargas horárias para a estação de arrefecimento do edifício X.

Horas	O <sub>hora</sub> [%]	CCD <sub>hora</sub>	C <sub>h</sub> (Maio) [kWh]	C <sub>h</sub> (Junho) [kWh]	C <sub>h</sub> (julho) [kWh]	C <sub>h</sub> (Agosto) [kWh]	C <sub>h</sub> (Setembro) [kWh]
7h às 8h	5	0,01	0,3	1,0	1,5	1,6	1,3
8h às 9h	80	0,10	4,0	15,7	24,7	25,5	20,8
9h às 10h	85	0,10	4,3	16,7	26,2	27,1	22,1
10h às 11h	100	0,12	5,1	19,6	30,9	31,9	26,0
11h às 12h	95	0,12	4,8	18,7	29,3	30,3	24,7
12h às 13h	45	0,05	2,3	8,8	13,9	14,4	11,7
13h às 14h	70	0,08	3,5	13,7	21,6	22,3	18,2
14h às 15h	95	0,12	4,8	18,7	29,3	30,3	24,7
15h às 16h	100	0,12	5,1	19,6	30,9	31,9	26,0
16h às 17h	90	0,11	4,6	17,7	27,8	28,7	23,4
17h às 18h	50	0,06	2,5	9,8	15,4	16,0	13,0
18h às 19h	10	0,01	0,5	2,0	3,1	3,2	2,6
Total	825	1,00	41,7	162,0	254,8	263,3	214,8

**Tabela B.13** – V.F.S por aumento de 1 m<sup>3</sup> no volume de armazenamento, para o colector F3 – 1 no Ed.VIII.

Temperatura [°C]	1 → 2 [m <sup>3</sup> ]	2 → 3 [m <sup>3</sup> ]	3 → 4 [m <sup>3</sup> ]	4 → 5 [m <sup>3</sup> ]
80	4,60%	-0,10%	-1,00%	-1,20%
70	2,90%	0,20%	-0,70%	-1,10%
60	2,90%	0,50%	-0,40%	-0,90%

**Tabela B.14** – V.F.S por aumento de 1 m<sup>3</sup> no volume de armazenamento, para o colector CRK - 12 no Ed.VIII.

Temperatura [°C]	1 → 2 [m <sup>3</sup> ]	2 → 3 [m <sup>3</sup> ]	3 → 4 [m <sup>3</sup> ]	4 → 5 [m <sup>3</sup> ]
80	14,80%	0,30%	-0,60%	-1,00%
70	7,50%	0,40%	-0,50%	-0,90%
60	4,40%	0,50%	-0,50%	-0,60%

**Tabela B.15** – V.F.S por aumento de 1 m<sup>3</sup> no volume de armazenamento, para o colector F3 – 1 no Ed.IX.

Temperatura [°C]	1 → 2 [m <sup>3</sup> ]	2 → 3 [m <sup>3</sup> ]	3 → 4 [m <sup>3</sup> ]	4 → 5 [m <sup>3</sup> ]
80	3,70%	-0,30%	-1,00%	-1,30%
70	2,30%	0,00%	-0,80%	-1,20%
60	2,40%	0,40%	-0,60%	-1,00%

**Tabela B.16** – V.F.S por aumento de 1 m<sup>3</sup> no volume de armazenamento, para o colector CRK - 12 no Ed.IX.

Temperatura [°C]	1 → 2 [m <sup>3</sup> ]	2 → 3 [m <sup>3</sup> ]	3 → 4 [m <sup>3</sup> ]	4 → 5 [m <sup>3</sup> ]
80	14,80%	0,40%	-0,60%	-1,00%
70	7,40%	0,50%	-0,60%	-0,80%
60	4,60%	0,50%	-0,50%	-0,60%

**Tabela B.17** – V.F.S por aumento de 1 m<sup>3</sup> no volume de armazenamento, para o colector F3 – 1 no Ed.X.

Temperatura [°C]	1 → 2 [m <sup>3</sup> ]	2 → 3 [m <sup>3</sup> ]	3 → 4 [m <sup>3</sup> ]	4 → 5 [m <sup>3</sup> ]
80	6,00%	0,40%	-0,50%	-1,00%
70	4,20%	0,70%	-0,20%	-0,90%
60	3,30%	1,20%	0,00%	-0,60%

**Tabela B.18** – V.F.S por aumento de 1 m<sup>3</sup> no volume de armazenamento, para o colector CRK-12 no Ed. X.

Temperatura [°C]	1 → 2 [m <sup>3</sup> ]	2 → 3 [m <sup>3</sup> ]	3 → 4 [m <sup>3</sup> ]	4 → 5 [m <sup>3</sup> ]
80	19,00%	1,80%	0,10%	-0,50%
70	11,90%	1,50%	0,20%	-0,40%
60	7,70%	1,50%	0,20%	-0,40%

**Tabela B.19** – Preços dos componentes do sistema por edifício para colectores planos selctivos.

	Colectores [€]	Estrutura [€]	Tubo cobre [€]	Isolamento da tubagem [€]	Depósito (s) [€]	Chiller [€]	Torre de arrefecimento [€]	Outros custos [€]	Mão-de- obra [€]	Total [€]
Ed.VII	79680	40320	4627	7212	10305	110000	18975	27112	89469	387700
Ed.VIII	54780	27720	3506	6753	6870	100000	15812	21544	71096	308082
Ed.IX	49800	25200	1572	3027	6870	100000	15812	20228	66753	289262
Ed.X	66400	33600	2693	5187	10305	95000	14593	22778	75167	325722

**Tabela B.20** – Preços dos componentes do sistema por edifício para colectores tubo de vácuo

	Colectores [€]	Estrutura [€]	Tubo cobre [€]	Isolamento da tubagem [€]	Depósito (s) [€]	Chiller [€]	Torre de arrefecimento [€]	Outros custos [€]	Mão-de- obra [€]	Total [€]
Ed.VII	142200	31860	4627	7212	10305	110000	18975	32518	107309	465006
Ed.VIII	101120	22656	3506	6753	6870	100000	15812	25672	84717	367106
Ed.IX	101120	22656	1572	3027	6870	100000	15812	25106	82849	359012
Ed.X	126400	28320	2693	5187	10305	95000	14593	28250	93224	403972